

1/2

< Reference 5; JP 2001-66473(JPA-066473) >

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-066473

(43)Date of publication of application : 16.03.2001

(21)Application number : 2000-237821 (71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC
IND CO LTD

(22)Date of filing : 01.08.1996 (72)Inventor : UNO TOMOAKI
OTANI JUN
TOUMON MOTOJI
MITSUTA MASAHIRO

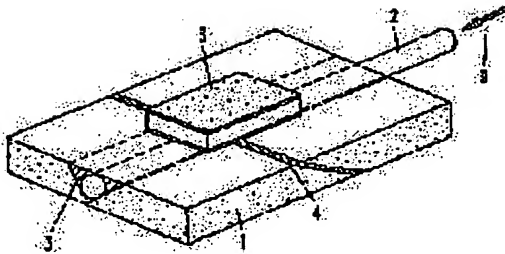
(30)Priority

Priority number : 07198538 Priority date : 03.08.1995 Priority country : JP

(54) OPTICAL DEVICE AND ITS PRODUCTION

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a small device with low loss and high reliability at a low price.



SOLUTION: This optical device comprises a substrate 1, at least one first groove 3 formed in the substrate 1, an optical fiber disposed in the first groove 3, and at least one second groove 4 obliquely crossing the optical fiber. Moreover, the device is equipped with an optical member inserted into the second groove 4 and having a face which at least partly reflects or diffracts the light propagating in the optical fiber. A photodetector is disposed at the position where the light reflected or diffracted by the optical

member is received.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-66473
(P2001-66473A)

(43) 公開日 平成13年3月16日 (2001.3.16)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	チーコード* (参考)
G 0 2 B	6/42	C 0 2 B	6/42
	6/24		6/24
H 0 1 L	31/0232	H 0 1 S	5/026
H 0 1 S	5/026		5/40
	5/40	H 0 1 L	31/02
			C
		審査請求 有	請求項の数 5 O L (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2000-237821 (P2000-237821)
(62) 分割の表示 特願平9-508305の分割
(22) 出願日 平成8年8月1日 (1996.8.1)

(31) 優先権主張番号 特願平7-198538
(32) 優先日 平成7年8月3日 (1995.8.3)
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000003821
松下電器産業株式会社
大阪府門真市大字門真1006番地
(72) 発明者 宇野 智昭
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内
(72) 発明者 雄谷 順
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内
(74) 代理人 100078282
弁理士 山本 秀策

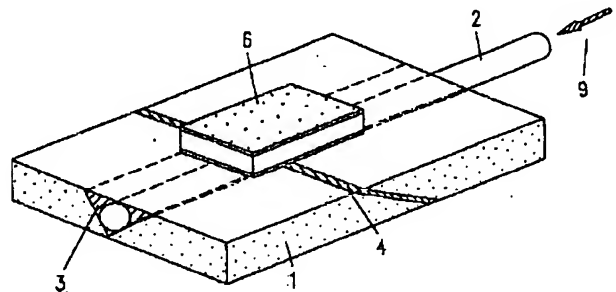
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光デバイスおよびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 低損失で高い信頼性を有する小型デバイスを低価格で提供する。

【解決手段】 本発明の光デバイスは、基板と、基板に形成された少なくとも一つの第1溝と、第1溝内に配置された光ファイバと、光ファイバを斜めに横切る少なくとも一つの第2溝とを備えた光デバイスであって、更に、第2溝内に挿入され、光ファイバを伝搬する光の少なくとも一部を反射または回折する面を有する光学部材を備えている。この光学部材によって反射又は回折された光を受け取る位置に受光素子が配置される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 上面を有する基板と、
前記基板の前記上面に形成された少なくとも一つの第1溝と、
前記第1溝内に配置された光ファイバと、
前記光ファイバを斜めに横切り、かつ、前記基板の前記上面に対して傾斜している少なくとも一つの第2溝とを備えた光デバイスであって、更に、
前記第2溝内に挿入され、前記光ファイバを伝搬する光の少なくとも一部を反射または回折する面を有する光学部材と、
前記基板の前記上面に配置され、前記光学部材によって反射または回折された光を受け取る少なくとも一つの第1光学素子とを備えており、
前記第1光学素子の活性な面は、前記基板の前記上面に対向しており、
前記第2溝内において、少なくとも前記光学部材と前記光ファイバとの間には、前記光ファイバのコア部の屈折率 n_f にほぼ等しい屈折率 n_r を持つ材料が埋められており、
前記基板は、底面を更に有しており、
前記光デバイスは、
前記基板の前記底面に配置され、前記光学部材により反射または回折された光を受け取る少なくとも一つの第2光学素子を更に備えており、
前記光ファイバは双方向に信号光を伝搬し、
前記第1光学素子は、前記光ファイバを第1方向に伝搬する信号光を受け取り、
前記第2光学素子は、前記光ファイバを前記第1方向とは反対の第2方向に伝搬する信号光を受け取り、
前記双方向信号光は、相互に異なる波長を有しており、
前記光学部材は、透明でかつ光ファイバの屈折率とほぼ同じ屈折率を有するベースと、前記ベースの2つの主面上に形成された2つの反射コートとを有しており、前記2つの反射コートは、それぞれ、異なる反射特性を示す、光デバイス。

【請求項2】 上面を有する基板と、
前記基板の前記上面に形成された少なくとも一つの第1溝と、
前記第1溝内に配置された光ファイバと、
前記光ファイバを斜めに横切り、かつ、前記基板の前記上面に対して傾斜している少なくとも一つの第2溝とを備えた光デバイスであって、更に、
前記第2溝内に挿入され、前記光ファイバを伝搬する光の少なくとも一部を反射または回折する面を有する光学部材と、
前記基板の前記上面に配置され、前記光学部材によって反射または回折された光を受け取る少なくとも一つの第1光学素子とを備えており、
前記第1光学素子の活性な面は、前記基板の前記上面に

対向しており、

前記第2溝内において、少なくとも前記光学部材と前記光ファイバとの間には、前記光ファイバのコア部の屈折率 n_f にほぼ等しい屈折率 n_r を持つ材料が埋められており、
前記基板は、反射器の取り付けられた底面を更に有しており、
前記光デバイスは、
前記基板の前記上面に配置され、前記光学部材により反射または回折された光を前記反射器を介して受け取る少なくとも一つの第2光学素子を更に備えており、
前記光ファイバは双方向に信号光を伝搬し、
前記第1光学素子は、前記光ファイバを第1方向に伝搬する信号光を受け取り、
前記第2光学素子は、前記光ファイバを前記第1方向とは反対の第2方向に伝搬する信号光を受け取り、
前記双方向信号光は、相互に異なる波長を有しており、
前記光学部材は、透明でかつ光ファイバの屈折率とほぼ同じ屈折率を有するベースと、前記ベースの2つの主面上に形成された2つの反射コートとを有しており、前記2つの反射コートは、それぞれ、異なる反射特性を示す、光デバイス。

【請求項3】 光デバイスと、
前記光デバイスを設置する第2の基板とを備えた光ファイバモジュールであって、
前記第2の基板には段差が設けられ、
前記段差の上面には、前記光デバイスの光ファイバの端部を設置する溝が形成され、
前記段差の下面には、前記光デバイスの基板が配置される平坦部が形成されており、
前記光デバイスは、
上面を有する基板と、
前記基板の前記上面に形成された少なくとも一つの第1溝と、
前記第1溝内に配置された光ファイバと、
前記光ファイバを斜めに横切り、かつ、前記基板の前記上面に対して傾斜している少なくとも一つの第2溝とを備えた光デバイスであって、更に、
前記第2溝内に挿入され、前記光ファイバを伝搬する光の少なくとも一部を反射または回折する面を有する光学部材と、
前記基板の前記上面に配置され、前記光学部材によって反射または回折された光を受け取る少なくとも一つの第1光学素子とを備えており、
前記第1光学素子の活性な面は、前記基板の前記上面に対向しており、
前記第2溝内において、少なくとも前記光学部材と前記光ファイバとの間には、前記光ファイバのコア部の屈折率 n_f にほぼ等しい屈折率 n_r を持つ材料が埋められている、光ファイバモジュール。

【請求項4】 光デバイスと、
 前記光デバイスを設置する第2の基板とを備えた光ファイバモジュールであって、
 前記第2の基板には段差が設けられ、
 前記段差の上面には、前記光デバイスの光ファイバの端部を設置する溝が形成され、
 前記段差の下面には、前記光デバイスの基板が配置される平坦部が形成されており、
 前記光デバイスは、
 基板と、
 前記基板に形成された少なくとも一つの第1溝と、
 前記第1溝内に配置された光ファイバと、
 前記光ファイバを斜めに横切る少なくとも一つの第2溝とを備えた光デバイスであって、更に、
 前記第2溝内に挿入され、前記光ファイバを伝搬する光の少なくとも一部を反射または回折する面を有する光学部材と、
 前記基板上に配置され、前記光学部材によって反射または回折された光を受け取る少なくとも一つの第1光学素子とを備えており、
 前記第1光学素子の活性な面と前記基板との間には、前記光ファイバのコア部の屈折率 n_f にほぼ等しい屈折率 n_p を持つ材料が埋められている、光ファイバモジュール。

【請求項5】 前記段差の前記上面に形成された前記溝に設置された前記光ファイバの端部に対向するように配置された半導体レーザを更に備えている、請求項3または4に記載の光ファイバモジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバ伝送路に接続して、光信号を受信あるいは送受信することのできる光デバイスおよびその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】波長分割多重(WDM: Wavelength Division Multiplexing)によれば、光伝送システムの伝送容量を増加することができる。また、それだけではなく、双方向伝送や、異種信号の同時伝送を可能にすることもできる。このように波長分割多重は、光伝送システムにおけるサービス要求に対して柔軟に 대응することができるものであり、中継伝送系、加入者系、および構内伝送系等のさまざまな光伝送システムへの適用が可能である。

【0003】近年、特に、センター局から多チャンネルの映像情報やデータを一般家庭まで光ファイバを用いて伝送する光加入者系システムが提案され、検討されている。これらのシステムでは、一般家庭の加入者端末において、波長多重される異種の光信号を同時に受信するための複数の受光装置と、家庭からセンターに向けたリクエストやデータをおくるための発光装置とが必要となる。

る。例えば、この種の目的に用いられる装置が、参考文献(1. Ikushima et al., "High-performance compact optical WDM transceiver module for passive double star subscriber systems," Journal of Lightwave Technology, vol.13, No.3, March 1995.)に開示されている。

【0004】図30は、双方向信号伝送に適用可能な受光用光デバイスの従来例を示している。この装置は、特開平6-331837号公報に開示されている。

【0005】この装置では、図30に示されるように、第1光ファイバ2012と第2光ファイバ2014とが間隙(数 μm 程度)を介して直列的に結合されている。第1光ファイバ2012の一端は、光軸に対して斜めにカットされ、その部分には光信号の一部を反射させ残りを透過させる半透過・半反射面2011が形成されている。同様に、第2光ファイバ2014の一端も、光軸に対して斜めにカットされ、その部分には、光信号の一部を反射させ残りを透過させる半透過・半反射面2013が形成されている。

【0006】第2光ファイバの半透過・半反射面2013が第1光ファイバ2012の半透過・半反射面2011と対向するように、かつ各々の光軸が一直線状になるように、第1及び第2光ファイバ2012及び2014が配置される。

【0007】図中右から伝搬してきた光信号は、第1光ファイバ2012の半透過・半反射面2011によって反射され、光ファイバ2012から外部に出射される。その光信号の経路上に第1フォトダイオード2015が配置され、この光信号を受光して電気信号を生成する。

【0008】図中左から伝搬してきた光信号は、第2光ファイバ2014の半透過・半反射面2013によって反射されて、第2光ファイバ2014から外部に出射される。その光信号の経路上には第2フォトダイオード2016が配置され、この光信号を受光して電気信号を生成する。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】この従来の光デバイスでは、斜めにカットされた光ファイバの端面に直接に半透過・半反射面を形成している。このために、(1)光ファイバの端面が平滑になるように特殊なカットをするか、斜めにカットを行った後に研磨加工を施す必要がある。また、(2)光ファイバの端面に半透過・半反射面を形成するために、光ファイバの端面上に薄膜を堆積する必要がある。真空蒸着装置等の薄膜堆積装置内に光ファイバを挿入し、その端面に薄膜を堆積する工程は製造のスループットを低下させる。

【0010】また、2本の異なる光ファイバを別々に斜めカットした後光軸を揃えるように配置するため、

(3) 光軸を高精度に調整する必要があるとともに、

(4) 光軸ずれによって、2本の光ファイバ間の光の伝

搬損失が増大しやすく、また、装置間で伝送損失の大きさにばらつきがある。また、(5) 2本の光ファイバの光軸が揃った状態では、光ファイバ間隙が数 μm 程度であっても、光ファイバと空気との間に屈折率差があるため、信号光が間隙で屈折し、伝送損失が極めて大きくなるおそれがある。

【0011】本発明は上記した問題点に鑑み、小型化、集積化、軽量化をはかると共に、生産性を向上させて低コストな光デバイスを提供することを目的としている。

【0012】本発明の他の目的は、光ファイバ伝送路に接続して、光信号を受信あるいは送信する双方向の光デバイス及びその製造方法を提供することである。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明の光デバイスは、基板と、該基板に形成された少なくとも一つの第1溝と、該第1溝内に配置された光ファイバと、該光ファイバを斜めに横切る少なくとも一つの第2溝とを備えた光デバイスであって、更に、該第2溝内に挿入され、該光ファイバを伝搬する光の少なくとも一部を反射または回折する面を有する光学部材を備えている。

【0014】好ましい実施形態では、前記第2溝内において、少なくとも前記光学部材と前記光ファイバの間には、該光ファイバのコア部の屈折率 n_f にほぼ等しい屈折率 n_r を持つ材料が埋められている。

【0015】好ましい実施形態では、前記屈折率 n_r と前記屈折率 n_f の間には、 $0.9 \leq (n_r/n_f) \leq 1.1$ の関係がある。

【0016】好ましい実施形態では、前記屈折率 n_r を持つ材料は樹脂から形成されている。

【0017】好ましい実施形態では、前記屈折率 n_r を持つ材料は紫外線硬化樹脂から形成されている。

【0018】ある実施形態では、前記第2溝の内壁には微細な凹凸が存在する。

【0019】ある実施形態では、前記光学部材は、選択された範囲の波長を有する光を選択的に反射する。

【0020】ある実施形態では、前記光学部材は、選択された範囲の波長を有する光を選択的に透過する。

【0021】好ましい実施形態では、前記光学部材は、屈折率 n_b を持つ材料から形成されたベースと、該ベース上に形成された誘電体多層膜とを備えており、該屈折率 n_b と前記屈折率 n_f の間には、 $0.9 \leq (n_b/n_f) \leq 1.1$ の関係がある。

【0022】ある実施形態では、前記光学部材の前記面は回折格子を有する。

【0023】ある実施形態では、前記基板は前記光ファイバを伝搬する信号光に対して透明な材料から形成されている。

【0024】ある実施形態では、前記基板はガラスから形成されている。

【0025】ある実施形態では、前記基板はセラミック

から形成されている。

【0026】ある実施形態では、前記基板は半導体から形成されている。

【0027】好ましい実施形態では、前記光学部材の前記面の法線は、前記光ファイバの光軸と平行ではない。

【0028】好ましい実施形態では、前記第2溝は、前記基板の上面に対して傾斜している。

【0029】ある実施形態では、前記光学部材によって反射または回折された光を受け取る少なくとも1つの光学素子を、前記基板上に備えている。

【0030】ある実施形態では、前記光学部材を透過した光を受け取る少なくとも1つの第2光学素子を、前記基板上に更に備えている。

【0031】ある実施形態では、前記基板は、上面と底面とを有しており、該基板の該底面に配置され、前記光学部材により反射または回折された光を受け取る第1受光素子と、該基板の該上面に配置され、該光学部材により反射または回折された光を受け取る第2受光素子とを更に備えている。

【0032】ある実施形態では、前記基板は、上面と、反射器の取り付けられた底面とを有しており、該基板の該上面に配置され、前記光学部材により反射または回折された光を受け取る第1受光素子と、該基板の該上面に配置され、該光学部材により反射または回折された光を、該反射器を介して受け取る第2受光素子とを更に備えている。

【0033】前記基板は、上面と底面と複数の側面とを有しており、該基板の該複数の側面の一つに配置され、前記光学部材により反射または回折された光を受け取る第1受光素子と、該基板の該複数の側面の他の一つに配置され、該光学部材により反射または回折された光を受け取る第2受光素子とを更に備えている。

【0034】ある実施形態では、前記光学素子は、受け取った光に応じた電気信号を生成する受光素子である。

【0035】好ましい実施形態では、前記受光素子は、前記基板上に固定されている。

【0036】好ましい実施形態では、前記受光素子の受光面と前記基板の間には、前記光ファイバのコア部の屈折率 n_f にほぼ等しい屈折率 n_p を持つ材料が埋められている。

【0037】ある実施形態では、前記受光素子の受光面には低反射率膜が形成されている。

【0038】ある実施形態では、前記第2溝の数は複数であり、該複数の第2溝のそれぞれに、異なるフィルタ特性を持つ光学部材が挿入されている。

【0039】ある実施形態では、前記第1溝の数は複数であり、前記第2溝の数は単数であり、該単一の第2溝が該複数の第1溝を横切っている。

【0040】ある実施形態では、前記第1溝の数は複数であり、該複数の第1溝は、ほぼ平行となるように前記

基板上に配列されている。

【0041】ある実施形態では、前記基板上には、前記第1溝に交差する方向に沿って第3溝が形成されており、該第3溝内には他の光ファイバが設けられており、前記光学部材から反射又は回折された光が該他の光ファイバに結合される。

【0042】ある実施形態では、前記光ファイバの端部に半導体レーザから出射されたレーザ光が結合される。

【0043】ある実施形態では、前記基板は該上面に凹部を有しており、該基板の該凹部に配置された半導体レーザを備えており、前記光ファイバの端部はレンズ状に加工されており、該半導体レーザの出射光が該光ファイバに光学的に結合する。

【0044】ある実施形態では、前記光ファイバの端部は、前記レンズ状部分の位置を前記半導体レーザ素子に対して相対的に移動させることのできる可動部を有しており、前記半導体レーザの出射光が該光ファイバに光学的に結合される状態で該可動部が固定されている。

【0045】ある実施形態では、前記基板は該上面に凹部を有しており、該基板の該凹部に配置された半導体レーザと、該半導体レーザの出射光を該光ファイバに光学的に結合するレンズとを備えている。

【0046】ある実施形態では、前記半導体レーザと前記レンズとを支持する支持部材が前記基板の凹部に配置されている。

【0047】ある実施形態では、前記支持部材上に配置された前記半導体レーザは、検査により選別された後に、前記基板の凹部に配置される。

【0048】ある実施形態では、前記半導体レーザからのレーザ光の一部を受け取る受光素子を前記基板上に備えている。

【0049】ある実施形態では、前記光ファイバは、該光ファイバを伝搬する信号光の波長帯域においてシングルモードファイバとして機能する第1部分と、該信号光の波長帯域においてマルチモードファイバとして機能する第2部分と、該第1部分及び該第2部分を接続する接続部分とを有しており、該第1部から該第2部分に向かって該接続部のコア径がゆるやかに連続して変化している。

【0050】ある実施形態では、前記光ファイバのうち、前記マルチモードファイバとして機能する第2部分のコア径は、シングルモードファイバの一部を加熱処理することによって増加されたものである。

【0051】ある実施形態では、前記第3溝内の前記他の光ファイバは、マルチモードファイバから形成されており、前記光学部材から反射又は回折された光を該他の光ファイバを介して受け取る受光素子を更に備えている。

【0052】ある実施形態では、前記基板には電気配線パターンが形成されており、前記受光素子は、該電気配

線パターンに接続されている。

【0053】ある実施形態では、前記受光素子の信号処理を行うための半導体電気素子が、前記電気配線パターンに接続されている。

【0054】ある実施形態では、前記光ファイバの一端には、他の光ファイバに接続するための光コネクタが取り付けられている。

【0055】ある実施形態では、前記基板の上面を覆うように形成された保護膜を更に備えている。

【0056】ある実施形態では、前記基板は、前記光ファイバの取り出し口と、外部と電気的に接続するための複数の端子とを有する筒体内に収容されている。

【0057】ある実施形態では、前記半導体レーザは前記支持部材上に第1の半田材料によって接続され、該支持部材は該第1の半田材料の融点よりも高い融点を持つ第2の半田材料によって前記基板上に接続されている。

【0058】ある実施形態では、前記基板は、前記光ファイバの取り出し口と、外部と電気的に接続するための複数の端子とを有する筒体内に収容されており、該基板は前記第2の半田材料の融点よりも低い融点を持つ第3の半田材料によって該筒体の底部に接続されている。

【0059】本発明の他の光デバイスは、基板と、該基板に形成された少なくとも一つの第1溝と、該第1溝内に配置され、双方向に信号光を伝搬する光ファイバと、該光ファイバを斜めに横切る少なくとも一つの第2溝とを備えた光デバイスであって、更に、該第2溝内に挿入され、該光ファイバを伝搬する双方向信号光の少なくとも一部を反射または回折する面を有する光学部材と、該双方向信号光のうち、該光学部材によって反射または回折された光をそれぞれ受け取る2つの受光素子と、を備えている。

【0060】ある実施形態では、前記光ファイバを横切る第3溝と、該第3溝内に挿入され、該光ファイバを伝搬する不要な波長成分の光を反射除去する面を有する第2の光学部材と、を更に備えている。

【0061】ある実施形態では、前記第2溝は前記光ファイバの光軸に対して垂直である。

【0062】ある実施形態では、前記第3溝中に挿入された前記第2の光学部材による反射光が前記2つの受光素子に混入しないように、前記第2溝及び該第3溝は前記光ファイバの光軸に対して異なる角度に形成されている。

【0063】好ましい実施形態では、前記第2溝内において、少なくとも前記光学部材と前記光ファイバとの間には、該光ファイバのコア部の屈折率 n_f にほぼ等しい屈折率 n_r を持つ材料が埋められている。

【0064】好ましい実施形態では、前記屈折率 n_r と前記屈折率 n_f との間には、 $0.9 \leq (n_r/n_f) \leq 1.1$ の関係がある。

【0065】ある実施形態では、前記屈折率 n_r を持つ

材料は樹脂から形成されている。

【0066】ある実施形態では、前記屈折率 n_r を持つ材料は紫外線硬化樹脂から形成されている。

【0067】ある実施形態では、前記第2溝の内壁には微細な凹凸が存在する。

【0068】ある実施形態では、前記光学部材は、選択された範囲の波長を有する光を選択的に反射する。

【0069】ある実施形態では、前記光学部材は、選択された範囲の波長を有する光を選択的に透過する。

【0070】ある実施形態では、前記光学部材は、屈折率 n_b を持つ材料から形成されたベースと、該ベース上に形成された誘電体多層膜とを備えており、該屈折率 n_b と前記屈折率 n_f との間には、 $0.9 \leq (n_b / n_f) \leq 1.1$ の関係がある。

【0071】ある実施形態では、前記光学部材の前記面は回折格子を有する。

【0072】ある実施形態では、前記基板は前記光ファイバを伝搬する信号光に対して透明な材料から形成されている。

【0073】ある実施形態では、前記基板はガラス材料から形成されている。

【0074】ある実施形態では、前記基板はプラスチック材料から形成されている。

【0075】ある実施形態では、前記双方向信号光は、相互に異なる波長を有しており、前記光学部材は、透明でかつ光ファイバの屈折率とほぼ同じ屈折率を有するベースと、該ベースの2つの主面上に形成された2つの反射コートとを有しており、該2つの反射コートは、それぞれ、異なる反射特性を示す。

【0076】ある実施形態では、前記反射コートは、金属薄膜から形成されている。

【0077】ある実施形態では、前記2つの反射コートが、それぞれ、多層薄膜構造を有している。

【0078】ある実施形態では、前記2つの受光素子のそれぞれは、カン状筒体にシーリングして実装されており、該カン状筒体と陥合するように前記基板には2つの凹部が形成されている。

【0079】ある実施形態では、前記2つの受光素子は、前記基板に形成された電気配線パターンに接続されている。

【0080】ある実施形態では、前記電気配線パターンは、前記2つの受光素子の少なくとも1つから出力される電気信号を検出して信号処理する電気集積回路素子に接続されている。

【0081】ある実施形態では、前記光ファイバは、該光ファイバを伝搬する信号光の波長帯域においてシングルモードファイバとして機能する第1部分と、該信号光の波長帯域においてマルチモードファイバとして機能する第2部分と、該第1部分及び該第2部分を接続する接続部分とを有しており、該第1部から該第2部分に向か

って該接続部のコア径がゆるやかに連続して変化している。

【0082】ある実施形態では、前記基板は、前記光ファイバの取り出し口と、外部と電氣的に接続するための複数の端子とを有する筒体内に収容されている。

【0083】ある実施形態では、前記光ファイバ内を双方向に伝搬する光の波長は、 $1.3 \mu\text{m}$ 帯及び/又は $1.5 \mu\text{m}$ 帯に属し、前記第2の光学部材によって除去される不要な光の波長は $0.98 \mu\text{m}$ 帯又は $1.48 \mu\text{m}$ 帯に属する。

【0084】本発明の光デバイスの製造方法は、基板の上面に第1溝を形成する工程と、光ファイバの一部を該第1溝内に埋込み固定する工程と、該光ファイバを斜めに横切る第2溝を形成する工程と、該第2溝内に該光ファイバを伝搬する光の少なくとも一部を反射または回折する面を有する光学部材を挿入し固定する工程と、を包含する。

【0085】好ましい実施形態では、前記第2溝内に前記光学部材を挿入し固定する工程は、該第2溝内にいて、少なくとも前記光学部材と前記光ファイバとの間に、該光ファイバのコア部の屈折率 n_f にほぼ等しい屈折率 n_r を持つ材料を埋め込む工程を包含する。

【0086】好ましい実施形態では、前記屈折率 n_r と前記屈折率 n_f との間には、 $0.9 \leq (n_r / n_f) \leq 1.1$ の関係がある。

【0087】ある実施形態では、前記基板上に少なくとも一つの受光素子を配置する工程を更に包含する。

【0088】ある実施形態では、前記基板上に少なくとも一つの受光素子を配置する工程を更に包含する。

【0089】ある実施形態では、前記基板上に少なくとも一つの発光素子を配置する工程を更に包含する。

【0090】本発明の他の光デバイスの製造方法は、基板の上面に複数の第1溝を形成する工程と、光ファイバの一部を該複数の第1溝内の各々に埋込み固定する工程と、該複数の光ファイバを斜めに横切る第2溝を形成する工程と、該第2溝内に該光ファイバを伝搬する光の少なくとも一部を反射または回折する面を有する光学部材を挿入し固定する工程と、を包含する。

【0091】好ましい実施形態では、前記光学部材の前記面の法線方向と前記光ファイバの光軸方向との為す角度、5度以上40度以下である。

【0092】本発明の光デバイスは、基板と、該基板に形成された少なくとも一つの第1溝と、該第1溝内に配置された光ファイバと、該光ファイバを斜めに横切る該基板の端面と、を備えた光デバイスであって、更に、該光ファイバのコア部の屈折率とほぼ同じ屈折率を有する材料によって、該基板の該端面上に貼り付けられた、該光ファイバを伝搬する光の少なくとも一部を反射または回折する面を有する光学部材と、該基板上に配置された受光素子であって、該光ファイバ内を伝搬する光の一部

のうち該光学部材によって反射された光を受け取る受光素子と、を備えている。

【0093】ある実施形態では、前記受光素子は、前記基板の前記第1溝が形成されている面上に配置されている。

【0094】ある実施形態では、前記受光素子は、前記基板の前記第1溝が形成されている面の反対側の面上に配置されている。

【0095】ある実施形態では、前記光ファイバを横切る第3溝と、該第3溝内に挿入され、特定の波長領域の光を反射する第2の光学部材とを備え、該第2の光学部材は、該光ファイバ内を伝搬する該特定の波長領域の光が前記受光素子に入射しないようにする。

【0096】ある実施形態では、前記光ファイバのコア部の屈折率とほぼ同じ屈折率を有する樹脂材料によって前記基板の上面に貼り付けられた、特定の波長領域の光を反射する光学部材を備えており、前記受光素子は、該光学部材の上に配置されている。

【0097】ある実施形態では、前記受光素子の受光面には、誘電体多層膜構造を有するフィルタが形成されている。

【0098】ある実施形態では、前記光ファイバは、光ファイバ光伝送路に接続される。

【0099】ある実施形態では、前記光ファイバには、光ファイバ伝送路に接続するためのフエール部が形成されている。

【0100】本発明の他の光デバイスの製造方法は、基板上に第1溝を形成する工程と、光ファイバを該第1の溝内に固定する工程と、該光ファイバを斜めに切断し、該光ファイバの光軸に対して傾斜した端面を該基板上に形成する工程と、該光ファイバを伝搬する光の少なくとも一部を反射または回折する面を有する光学部材を、該光ファイバのコア部の屈折率とほぼ同じ屈折率を有する材料によって該傾斜端面に貼り付ける工程と、該光学部材によって反射又は回折された光を受け取る受光素子を該基板上に配置する工程と、を包含する。

【0101】このように、本発明の光デバイスでは、光ファイバを基板の溝に埋め込み、その光ファイバを伝搬する光を反射もしくは回折させる光学部材を埋め込むことにより、任意の方向に信号光を取り出すことを可能にしている。

【0102】また、任意の方向に取り出される前記光を、基板の上方に配置した半導体受光素子に屈折率整合する樹脂を用いることにより不要な反射点を生じずに特にこの光ファイバがマルチモード光ファイバである時にはその接続は一層容易となる。

【0103】光学部材は誘電体と金属の多層膜構造を有する層を光ファイバの屈折率とほぼ同程度の樹脂材料で基体の両面を埋め込むことにより、あるいは、ある種の光学部材の主面とは異なる面のみ光ファイバの屈折率と

ほぼ同程度の樹脂材料で埋め込むことによりフィルタ特性を改良する。

【0104】回折により取り出される光は、半導体受光素子配列に結合され、あるいは他の光ファイバを用いて外部に取り出され、複数の異なる波長の光信号の中から所望の波長のみを分波して取り出すことが容易にできる。

【0105】光ファイバがシングルモードファイバに接続されるマルチモード光ファイバでその接続部のコア径がゆるやかに連続して変化するあるいは、光ファイバがシングルモードファイバと光ファイバを熱処理してマルチモードファイバとする時には、モード径の拡大したマルチモードファイバに光を結合することにより高効率でシングルモードファイバに光を結合できる。

【0106】半導体レーザを基板の凹に配置し、光ファイバにレンズ機能を有するものを用いれば容易に光ファイバに光を結合できる。埋めこまれた光ファイバの一部に可動部を有するときには半導体レーザを基板に接続した後光ファイバの可動部を調整してさらに光の光ファイバへの結合の度合いを高めることができる。

【0107】半導体レーザとレンズを異なる基板上に配置し光ファイバを埋め込む基板に配置するときには、あらかじめ半導体レーザの特性を検査により選別した後用いることができるために光デバイスの歩留まりを向上できる。半導体レーザとレンズの結像スポットを前記のマルチモードファイバと同程度にしておくことにより、数 μm 程度の緩い精度で半導体レーザの光を光ファイバに結合することができる。

【0108】基板からマルチモードファイバにより光を取り出すときには、全ての光を半導体受光装置に取り込むことで品質劣化を生じることなくアナログ信号の受光を可能にする。

【0109】基板の表面には、半導体受光素子と接続するための電気配線パターンを形成でき、特に高周波信号の場合は外部と接続する電気回路に対してインピーダンス整合することができる。また半導体受光素子の他に電気信号処理をおこなうための電気素子を一体に形成すれば電氣的な整合が良好となると共に小型化が可能になる。

【0110】基板に埋めこまれる光ファイバから異なる反射基体により異なる波長の信号を別々に取り出すように配列配置すれば、波長多重伝送される光信号を一枚の基板上で選別して取り出すことができる。

【0111】基板上に複数の光ファイバを配列して配置すれば、一枚の基板上で複数の光ファイバで独立に光信号を並列伝送する系に用いることができる。

【0112】基板上への素子形成が終了した後基板表面を樹脂材料で覆うことにより基板表面上に配置される半導体素子を、外部からの水分や雰囲気から保護することができる。この基板は直接光ファイバ取り出し口と電気

接続端子を有する筒体に収容できる。

【0113】また半導体レーザと基板間の第1半田材料、基板と基板間の第2半田材料、基板と前記筒体間を接続する第3半田材料を、第1半田材料の融点が第2半田材料より高く、第2半田材料の融点が第3の半田材料より高くすることにより、それぞれの半田接続時に素子が動かないようにし、信頼性を確保できる。

【0114】

【発明の実施の形態】本発明による光デバイスは、基板の第1溝内に配置された光ファイバと、この光ファイバを斜めに横切る少なくとも一つの第2溝とを備えた光デバイスであって、第2溝内に挿入され、光ファイバを伝搬する光の少なくとも一部を反射または回折する光学部材を備えている。この光学部材の働きによって、光ファイバを伝搬する光をインライン配置された受光素子等で受け取ることが可能となる。その結果、第2溝及びその中の光学部材を透過した光を利用したり、光ファイバの端部から他の光信号を光ファイバ内に導入することができる。この結果、光ファイバと受光素子や発光素子とを多様な配置関係で一体化したコンパクトな光伝送端末を提供することが可能となる。

【0115】特に、第2溝内において光学部材と光ファイバとの間を、光ファイバのコア部の屈折率にほぼ等しい屈折率を持つ材料で埋めた場合、第2溝の内壁に微細な凹凸があったとしても、光ファイバを伝搬する光は、第2溝の内壁によって、不必要な散乱・屈折の影響を受けないで済む。このことは、第2溝の形成を極めて容易にするものであり、例えば、第2溝の内壁を研磨によって平滑化する必要が無くなる。

【0116】また、本発明によれば、基板の第1溝内に光ファイバを配置した後に第2溝を形成するため、特別な光軸アライメント工程が不要となり、製造工程が極めて簡便化される。

【0117】以下、図面を参照ながら、本発明の実施例を詳細に説明する。

【0118】(実施例1) まず、図1A及び図1Bを参照しながら、本発明による光デバイスの第1の実施例を説明する。図1Aは、本実施例の光デバイス(受光モジュール)の第1の実施例の最上部のみを示す斜視図であり、図1Bは、光デバイスの光ファイバに沿って切り取った断面図である。

【0119】この光デバイスは、深さが $130\mu\text{m}$ 程度のV溝(第1溝)3が平坦な上面に形成されたガラス基板(厚さ 2mm 、縦×横 $=5\text{mm}\times3\text{mm}$)1を用いて構成されている。V溝3内には、外径 $125\mu\text{m}$ の光ファイバ2が配置されており、この光ファイバ3を(その光軸に対して)斜めに横切るように、平行溝(第2溝)4がガラス基板1の上面に形成されている。この平行溝4によって、光ファイバ2には斜めにスリットが形成され、それによって空間的に離れた2つの部分に分離され

ている。本実施例では、平行溝4の内壁に立てた法線が光軸に対して 30° の角度を形成するように平行溝4を形成している。

【0120】V溝3のサイズは、光ファイバ2を安定に保持できるように設計される。V溝3の深さは、光ファイバ2を完全に内部に含み得るものであることが好ましいが、光ファイバ2の最上部が基板1の上面よりも僅かに上に位置しても大きな問題はない。また、V溝3に代えて、光軸に垂直な面における断面が矩形形状やU字型形状を有する溝を採用しても良い。

【0121】平行溝4は、その溝幅(溝内壁の間隔あるいは分離された2つの光ファイバの間隔)が約 $100\mu\text{m}$ 程度またはそれ以下の溝であることが好ましい。本発明では、この平行溝4の中に光学部材が挿入されている。本実施例の場合、 $1.55\mu\text{m}$ 帯の光を選択的に反射するフィルタ特性を有する光反射基体(厚さ $80\mu\text{m}$)5が平行溝4内に挿入されている。この光反射基体5は、ベースとなる石英基板と、その少なくとも一方の主面上にシリコン酸化膜とチタン酸化膜とを交互に積層した誘電体多層膜(フィルタ膜)とを備えており、それによって特定波長範囲内の光に対して高い反射率を示すフィルタ特性が提供される。光反射基体5は、平行溝4内に完全に収納される必要はなく、基板1の上面より上に光反射基体5の一部が突出してもよく、光ファイバ2を伝搬してくる信号光を受光できるように配置されていけばよい。

【0122】平行溝4内において光反射基体5を安定に固着するため、紫外線硬化樹脂7が使用されている。この樹脂は、少なくとも硬化後において、信号光の波長(本実施例では、 $1.55\mu\text{m}$ 帯)の光に対して実質的に透明となるように選択される。

【0123】図2は、平行溝4及び基体5の近傍をより詳細に示す断面図である。平行溝4の内壁、より正確には、平行溝4を介して相互に対向する光ファイバ2の端面は、光ファイバ2の光軸を斜めに横切っている。このため、平行溝4の内部に光ファイバのコア部の屈折率 n_f と異なる屈折率の材料が存在すると、光ファイバ2を伝搬する光は、平行溝4において屈折する。それによって、平行溝4における伝搬ロスが生じるおそれがある。また、ダイシング加工などの平行溝を形成する工程によって、平行溝4の内壁は、損傷(機械的/化学的損傷)を受けやすく、平行溝4の内壁には微細な凹凸が形成されることが多い。

【0124】これらの場合であっても、光ファイバ2のコア部の屈折率 n_f とほぼ等しい屈折率 n_r を持つ材料で、平行溝4の内壁と光反射基体5との間が埋められていると、光ファイバ2を伝搬する光は、微細な凹凸を感じることなく、しかも、光軸を変化させずにまっすぐ、平行溝4を越えて光ファイバ間を伝わって行く。実験によれば、屈折率 n_r と屈折率 n_f の間には、 $0.9\leq$

$(n_r/n_f) \leq 1.1$ の関係があることが好ましいことがわかっている。以下、特に断らない限り、本願明細書にて言及する樹脂は、何れも、上記不等式を満足するような屈折率を有するものである。

【0125】図1A及び図1Bを再び参照する。基板1の上面上には、光反射基体5によって反射された $1.55\mu\text{m}$ 帯の信号光を検出するためのInGaAs半導体受光素子6が配置されている。半導体受光素子6と外部回路との間で相互接続を行うための電極8が、基板1の上面上に形成されている。

【0126】図中の矢印9は、光ファイバ2の他端から伝送される波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯の光信号の進路を示している。この光信号の波長から大きくシフトした波長を持つ光は、光反射基体5によってほとんど反射されないため、光反射基体5を透過し、半導体受光素子6の受光部に届かない。

【0127】図3は、フィルタ膜の形成された光反射基体5の代わりに、回折格子の形成された基体を光学部材として平行溝4内に挿入した例を示している。この回折格子によって、光ファイバ2を伝搬する光は回折され、複数の回折光が形成される。このうち、最も強度の高い次数の回折光を受け取ることができる位置に受光素子の受光部を配置する。異なる波長を持つ複数の信号光が光ファイバを伝搬してくる場合、それらの波長に応じて回折角度が異なる。このため、各信号光に対応して、異なる位置に受光部（例えば、フォトダイオードPD1、PD2、PD3）を配置すれば、各信号光を別個に検出することができる。受光素子の小型化のためには、これら複数の受光部を一つの半導体基板に設けることが好ましい。

【0128】次に、図4Aから図4Cを参照しながら、基体5によって反射された信号光の進行経路について説明する。

【0129】図4Aに示されるように、本実施例では光ファイバと受光素子との間には樹脂が設けられる。屈折率 n_r が光ファイバのコア部の屈折率 n_f とほぼ等しくなる樹脂が選択される。この樹脂は、少なくとも信号光の経路を埋めるように設けられている。もし、樹脂が信号光の経路を埋めていない場合、信号光の屈折や散乱が生じるため、受光素子は効率よく信号光を受け取ることができない。また、そのような場合、光ファイバは円柱状構造を有しているため、レンズ効果によって信号光の経路が複雑になる。

【0130】本実施例のように、屈折率 n_r が光ファイバのコア部の屈折率 n_f にほぼ等しくなる樹脂が挿入されることによって、図4Bに示されるように、信号光は真っ直ぐに受光素子の受光部に入射することができる。図4Cは、樹脂の有無によって、信号光の進路がどのように変化するかを模式的に示している。屈折や散乱が生じると、受光部上での信号光のスポットサイズが大き

なり、受光素子による検出感度や応答速度が低下することとなる。実験によれば、屈折率 n_r と屈折率 n_f との間には、 $0.9 \leq (n_r/n_f) \leq 1.1$ の関係があることが好ましいことがわかっている。なお、同様の屈折率を持つ限り、樹脂以外の材料を用いても良い。

【0131】このように本実施例の配置によれば、光反射基体5によって選択的に反射された信号光は、基板1中を透過しない。このため、基板1は必ずしも信号光に対して透明である必要はない。ガラス基板1以外に、セラミック基板や半導体基板を用いても良い。半導体基板を用いた場合、受光素子に接続される回路を同一半導体基板上に前もって形成しておくことも可能である。

【0132】以下に、図1A及び図1Bに示す光デバイスの動作を説明する。

【0133】光ファイバ2を通して伝送されてきた光信号（例えば、 $1.55\mu\text{m}$ 帯のレーザ光）は、光ファイバ2の光軸に対して斜めに形成された平行溝4中の光反射基体5によって斜めに反射される。より詳細には、平行溝4の内壁に立てた法線（正確には、「光反射基体5の主面に立てた法線」と光ファイバ2の光軸との作る角度が約30度の場合、反射光と光ファイバ2の光軸との作る角度が約60度となるように信号光は反射される。他方、 $1.55\mu\text{m}$ 帯に属さない光、例えば、 $1.55\mu\text{m}$ から $0.2\mu\text{m}$ 程度以上ずれた波長を持つ光が光ファイバ2を伝送されてきた場合、その光のほとんどは、光反射基体5によって反射されることなく、それを透過することになる。

【0134】本実施例の場合、図1Aからわかるように、上記法線と光ファイバの光軸の両方を含む平面が、基板1の上面上に対して垂直となるように平行溝4の向きが設定されている。

【0135】このような配置によって、所望の波長範囲内の光信号がガラス基板1の上面上から基板外側に選択的に取り出される。取り出された光信号を受け取れる位置に光信号検出用の半導体受光素子6が配置される。

【0136】この半導体受光素子6によって、 $1.55\mu\text{m}$ 帯の光信号は電気信号に変換され、電極8から外部に取り出される。樹脂7は半導体受光素子6の電極を電極8に圧着固定すると同時に、屈折率が光ファイバ2から取り出される光信号に対して屈折や散乱を生じないように選ばれたものである。

【0137】半導体受光素子6の表面には半導体層表面（受光面）で光信号の反射を生じないように、あらかじめ低反射率コートが施されている。このため、光ファイバ2を伝搬する波長 $1.55\mu\text{m}$ の光信号のほとんどが半導体受光素子6の受光部に取り込まれる。

【0138】ここで用いる半導体受光素子6は波長 $1.55\mu\text{m}$ の光信号に対して透明なInP半導体結晶基板が使われるので、光信号の入射方向は結晶成長側もしくは結晶基板側のいずれでも良い。

【0139】この受光用光デバイスによれば、光ファイバ2の光信号出射点と半導体受光素子の受光部との距離を短く（約60～300 μ m程度）、しかも、再現性良く一定の値に設定できる。このため、光信号出射点から光が空間的に拡がって半導体受光素子の受光部以外の領域に到達することが抑制される。その結果、光ファイバ2を伝搬する波長1.55 μ mの光信号の90%以上が半導体受光素子6に取り込まれ、高い受光効率が容易に達成される。しかも、従来の受光用半導体装置の様に光ファイバの光出射端面やレンズ端面や半導体受光素子端面等の複数の端面間での光信号の多重反射効果による信号劣化等の問題が無い。このため、高い信号品質を必要とするアナログ光信号伝送系の受光用としても用いることができる。また、全ての構成要素が、ガラス基板1に対して固定されているので、外部からの振動や外部の温度変化に伴う位置ずれで特性が変化するという問題が無く、長時間の信頼性にも優れている。

【0140】次に、上記受光用光デバイスの製造方法を説明する。

【0141】まず、機械的な切削によってガラス基板1の上面にV溝3を形成する。次に、例えば真空蒸着法によって、ガラス基板1の表面上に導電性薄膜を堆積した後、フォトリソグラフィ工程及びエッチング工程によって、その導電性薄膜を所望の電極パターンに加工し、それによってパターニングされた導電性薄膜から電極8を形成する。この時、上記工程によって、電極8を形成すると同時に、平行溝4を形成すべき位置と受光素子を配置すべき位置とを表示する「位置合わせ用マーク」をガラス基板1上に形成することが好ましい。

【0142】次に、光ファイバ2を樹脂材料を用いてV溝3中に埋め込む。

【0143】樹脂を硬化した後に、ガラス基板1上において前述の位置合わせ用マークが示す位置に平行溝4を形成する。平行溝4の形成は、ワイヤソウやダイシングソウと呼ばれる切断装置によって容易に行うことができる。

【0144】次に、光反射基体5を平行溝4内に樹脂と共に挿入し、その樹脂を硬化する。この時、樹脂の屈折率を光ファイバ2のコア部の屈折率と同程度に設定することが好ましい。樹脂の屈折率を光ファイバ2のコア部の屈折率と同程度に設定することによって、平行溝4の内壁（切断面）の荒れによる過剰な光損失（光信号の散乱）を抑制できる。樹脂としては、紫外線硬化樹脂が好ましい。硬化のための加熱工程を行う必要がないからである。

【0145】次に、樹脂7を用いて、半導体受光素子6をガラス基板1上の位置合わせ用マークで示す位置に固定する。位置合わせは、ガラス基板1上の位置合わせ用マークと半導体受光素子6とをガラス基板1の上方から観察しながら、両者の位置を整合させることによりよ

て実現する。この位置合わせには、あらかじめ、半導体受光素子6の側にも受光部の位置を示すマークが形成しておく方法を用いればさらに精度良く、互いの位置合わせを行うことができる。

【0146】前述した半導体受光素子6の結晶基板側から光信号を入射する場合には、実装時の表面側となるInGaAs結晶成長層側に受光部の位置を示すマークを形成することになる。このため、例えば半導体受光素子6の電極形成時に、同時に、位置合わせ用マークを形成できるため、半導体受光素子6の製造の一部が容易となる。樹脂材料として紫外線光を外部から照射することにより硬化するものを用いれば、長時間の硬化時間を必要とせずに所定の位置に半導体受光素子を固定することができる。

【0147】この受光用装置を製造する際、光ファイバからの光信号を検出しながら各部品の位置を3次元的に調整する必要がない。このため、シリコン集積回路装置製造分野における実装技術に用いられるような、2次元的な調整を行う実装装置を用いて製造することができる。このため、短時間での大量の製造に適しており、低価格が期待できる。

【0148】（実施例2）次に、図5を参照しながら、本発明による受光用装置の第2の実施例を説明する。図5は、波長 $\lambda_1 = 1.55\mu\text{m}$ の信号光と波長 $\lambda_2 = 1.31\mu\text{m}$ の光信号を受光する受光用光デバイスの断面図である。なお、以下において、前述の実施例に関して説明した部分と同一の部分には同一の参照番号を附し、その部分の詳細な説明は省略する場合がある。

【0149】図5に示されるように、2つの平行溝（溝幅：約100 μm ）が、光ファイバ2の光軸に対して所定の角度をなして、ガラス基板1中に形成されている。本実施例では、光軸に対して各平行溝のなす角度は等しいが、相互に異なっても良い。

【0150】光ファイバ2は、実施例1について説明したように、ガラス基板1の上面に形成された溝内に樹脂で固定されている。

【0151】上記2つの平行溝内には、それぞれ、異なる種類の光反射基体11、12が挿入されている。光反射基体（厚さ：80 μm ）11は、波長 $\lambda_1 = 1.55\mu\text{m}$ の信号光を99%以上反射するフィルタ特性を有し、光反射基体（厚さ：80 μm ）12は、波長 $\lambda_2 = 1.31\mu\text{m}$ の信号光を99%以上反射するフィルタ特性を有する。なお、光反射基体11は、波長 $\lambda_2 = 1.31\mu\text{m}$ の信号光を約95%以上透過する。

【0152】ガラス基板1上には、光反射基体11によって反射された波長 $\lambda_1 = 1.55\mu\text{m}$ の信号光を受け取るようにInGaAs半導体受光素子13が配置されている。また、光反射基体12によって反射された波長 $\lambda_2 = 1.31\mu\text{m}$ の信号光を受け取るように、ガラス基板1上にInGaAs半導体受光素子14が配置され

ている。なお、矢印15、16、17は、光ファイバ2の一端から伝送される信号光の進路を示している。

【0153】本実施例の光デバイスの動作は、以下の通りである。

【0154】光ファイバ2を通して伝送される光は、まず、光信号の進路15の位置では、少なくとも波長 $\lambda_1 = 1.55\mu\text{m}$ の信号光と波長 $\lambda_2 = 1.31\mu\text{m}$ の信号光とを含んでいる。光反射基体11は、波長 $1.55\mu\text{m}$ の光信号のみを選択的に反射して、その反射光を半導体受光素子13に与える（進路16）。半導体受光素子13は、受け取った光信号に応答して、電気信号を生成する。

【0155】一方、波長 $1.31\mu\text{m}$ の光信号は、光反射基体11を透過し、光反射基体12によって選択的に反射される。反射光は半導体受光素子14に与えられ、半導体受光素子14は受け取った光信号に応答して電気信号を生成する。

【0156】樹脂7は受光素子13、14の電極を電極8に圧着固定すると同時に、屈折率が光ファイバ2から取り出される光信号に対して反射を生じないように選ばれたものである。

【0157】半導体受光素子13、14の表面には半導体層表面で光信号の反射を生じないようにあらかじめ低反射率コートが施されており、光ファイバ2を伝搬する波長 $1.55\mu\text{m}$ の光信号が半導体受光素子13で取り込まれ、波長 $1.31\mu\text{m}$ の光信号が半導体受光素子14に取り込まれる。

【0158】この受光用装置によれば、光ファイバ2の光信号出射点と半導体受光素子の受光部との距離を短く（約 $60\sim 300\mu\text{m}$ 程度）、しかも、再現性良く一定の値に設定できる。このため、光信号出射点から光が空間的に拡がって半導体受光素子の受光部以外の領域に到達することが抑制される。その結果、光ファイバ2を伝搬する波長 $1.55\mu\text{m}$ の光信号の90%以上が半導体受光素子13に取り込まれ、波長 $1.31\mu\text{m}$ の光信号の80%以上が半導体受光素子14に取り込まれ、高い受光効率が容易に達成される。しかも、従来の受光用半導体装置の様に光ファイバの光出射端面やレンズ端面や半導体受光素子端面等の複数の端面間での光信号の多重反射効果による信号劣化等の問題が無い。このため、高い信号品質を必要とするアナログ光信号伝送系の受光用としても用いることができる。また、全ての構成要素が、ガラス基板1に対して固定されているので、外部からの振動や外部の温度変化に伴う位置ずれで特性が変化するという問題が無く、長時間の信頼性にも優れている。半導体受光素子13、14は、同一の半導体基板上に形成された2つの半導体受光素子であってもよい。

【0159】次に、図6を参照しながら、平行溝を通過する光信号の損失を説明する。図6は、シングルモードファイバに設けた間隙によって生じる光損失の計算結果

と実験結果とを示している。間隙内に、屈折率 n の物質が存在するとする。図6中の実線は、波長 $1.31\mu\text{m}$ の光信号の損失を示し、破線は波長 $1.55\mu\text{m}$ の光信号の損失を示す。間隙の屈折率 $n = 1.0$ の場合と、 $n = 1.5$ の場合に対応して2群の曲線が示されている。

【0160】本実施例で用いられる樹脂の屈折率は1.5程度である。図6から、屈折率 $n = 1.5$ の場合、幅 $100\mu\text{m}$ の間隙に対して1dB程度のわずかな結合損失しか生じないことがわかる。この結合損失は、ファイバ間の間隙を小さくすることによって低減され、また、光ファイバのコア径を大きくすることによっても低減され得る。

【0161】この受光用装置を製造する際、光ファイバからの光信号を検出しながら各部品的位置を3次元的に調整する必要がない。このため、シリコン集積回路装置製造分野における実装技術に用いられるような、2次元的な調整を行う実装装置を用いて製造することができる。このため、短時間での大量の製造に適しており、低価格が期待できる。

【0162】なお、本実施例の受光用装置を波長の異なる3種類以上の光信号を検出できるように改良しても良い。

【0163】（実施例3）次に、図7Aから図7B及び図8を参照しながら、本発明による装置の第3の実施例を説明する。

【0164】本実施例の装置は、図5に示されるような2波長の光信号を受光する受光用装置と電気増幅器とをハイブリッドに一つの基板上に集積化したものである。図7Aは、その装置の回路の一部を示す等価回路、図7Bは、装置の模式的斜視図、図7Cはその平面図である。

【0165】図7Bに示されるように、基板1には、図5の受光素子13及び14が形成されており、これらの受光素子13及び14は、実施例2で説明したように、溝（不図示）内に埋め込まれた光ファイバ2を伝搬する光のうち選択された波長帯域の信号光をそれぞれ検出する。

【0166】受光素子は、図7Aにおいて、フォトダイオードの記号で表現されている。受光素子が信号光を受け取ると、フォトダイオードと抵抗との間の部分の電位が変化する。電気増幅器は、その電位変化を増幅して出力する。

【0167】図7Bを参照する。第1の電気増幅器21は、第1の受光素子13に電気的に接続され、第2の電気増幅器22は、第2の受光素子14に電気的に接続されている。

【0168】第1の受光素子13は第1の抵抗器23を介して電気配線パターン25に接続され、第2の受光素子14は第2の抵抗器24を介して電気配線パターン25に接続されている。

【0169】光ファイバ2によって伝送される光信号のうち波長1.55 μm の光信号は、第1の受光素子13で電気信号に変換されてから第1電気増幅器21に入力され増幅された後、図7Bにおいて不図示の電極パターンによって取り出される。また、波長1.31 μm の光信号は第1の受光素子13で検出されずに第2の受光素子14で電気信号に変換されてから、第2の電気増幅器22に入力され、増幅される。その増幅された信号は、図7Bにおいて不図示の電極パターンによって取り出される。

【0170】図7Bの装置は、以下に示すようにして製造される。

【0171】まず、電極配線パターン25がガラス基板1上に形成される。電極配線パターン25は、電極材料からなる導電性薄膜をガラス基板1上に蒸着する工程の後、フォトリソグラフィ工程及びエッチング工程を行うことによって形成される。これらの工程によって、電極配線パターン25を形成するとともに、導電性薄膜から種々の「位置合わせ用マーク」を形成することができる。図7Cの斜線部は、電極配線パターンの一例を示している。

【0172】次に、V溝が形成されるべき位置を示す「位置合わせ用マーク」に基づいて、ガラス基板1の所定の位置にV溝を形成した後、V溝内に光ファイバ2を埋め込み、樹脂によって光ファイバ2を固定する。その後、不図示の平行溝が形成されるべき位置を示す「位置合わせ用マーク」に基づいて、ガラス基板1に2つの平行溝を形成した後、光反射基体11及び12を平行溝中に樹脂で固定する。その後、受光素子13及び14の端子電極が電極パターン25の一部に接続されるように配置し、樹脂によってガラス基板1上に固定する。

【0173】図8は、図7Bに示す装置をパッケージ内に実装した状態の構成を示す図である。図8では、図7Bの受光用装置を参照符号37で表している。受光用装置37は、パッケージ31の底部に導電性樹脂によって固定される。その後、パッケージ31を突き抜ける各電気接続端子33の一端と、受光用装置37上の電極配線パターンとを、アルミからなる電気接続ワイヤ35によって接続する。光ファイバ取り出し口32を介して、パッケージ31内の受光用装置37から外部へ延びる光ファイバの他端は、光コネクタ36に接続される。受光用装置37の表面を保護用樹脂によって覆い、パッケージ31の内部に外部から浸入する水分やガス等から受光素子を保護する。次に、光ファイバ取り出し部に樹脂を充填することによって、気密処理を施した後、パッケージ31にその蓋部を取付ける。

【0174】この装置の製造に際しては、図8の紙面に垂直な方向に各部品を高精度に位置決めする必要が無く、紙面に平行な面内での位置決めをすればよい。従って、半導体集積回路の実装分野で使用される通常の実装

装置を用いて容易に作製することができる。なお、全ての構成部品はパッケージ31に固着されているので、機械的な振動に対して、高い信頼性を有する。

【0175】(実施例4)次に、図9A及び図9Bを参照しながら本発明による光デバイスの第4の実施例を説明する。図9Aは本実施例の平面図、図9Bはその断面図である。本実施例では、凹部の形成されたセラミック基板41上に複数の受光素子に加えて、複数の半導体レーザ素子が配置されている。従って、コンパクトな構成でありながら、信号光の送受信が可能である。

【0176】以下、この光デバイスの構成を詳細に説明する。

【0177】セラミック基板41の上面は、半導体レーザ素子が配置される第1の領域と、受光素子が形成される第2の領域に分けられる。第1の領域は、セラミック基板41に形成された凹部43の底面に対応する。図9Bに示されるように、第1の領域と第2の領域の間にはステップがあり、第1の領域の高さは、第2の領域の高さよりも、例えば、約60～70 μm 程度、低く形成されている。このように凹部を基板の上面に形成している理由は、この凹部に半導体レーザ素子等の発光素子を搭載するためである。発光素子の発光部の位置を光ファイバの光軸に整合させるため、凹部底面の相対的な高さが調整される。

【0178】セラミック基板41の上面の第2の領域には、3本の溝が形成され、各溝には光ファイバ48が埋め込まれている。3本の光ファイバ48を斜めに横切るように、一つの平行溝が形成されている。この平行溝内には、波長1.55 μm の光を反射し、波長1.31 μm 光を透過する一枚の光反射基体41が挿入されている。これらの構成は、基本的には前述の実施例と同様の構成を有しており、詳細な説明は省略する。

【0179】波長1.31 μm のレーザ光を出射する半導体レーザアレー44がセラミック基板41の上面の第1の領域上に配置されている。本実施例では、同一の半導体基板に形成された半導体レーザアレー44を用いているが、その代わりに、異なる種類の半導体レーザ素子を3つ、別個にセラミック基板41上に配列しても良い。

【0180】セラミック基板41の上面の第2の領域上には、3つの半導体受光素子45が並列的に配列されている。半導体受光素子45は、それぞれ、対応する光ファイバ48の真上に配置され、樹脂によって固定されている。半導体受光素子45は、反射基体41によって反射された波長1.55 μm の光信号を受け取る。

【0181】なお、セラミック基板41の上面の第1の領域上には、レーザ素子用電極47が形成されており、第2の領域上には受光素子用電極46が形成されている。

【0182】光ファイバ48の各々の先端部には、光フ

ファイバ48の先端部を一定の曲率を持つように研磨加工することによってレンズ49が形成されている。このレンズ49によって、半導体レーザアレー44から出射された信号光が対応する光ファイバ48に効率良く入射される。

【0183】以下に、上記光デバイスの製造方法を説明する。

【0184】まず、セラミック基板41の一部に凹部を形成した後に、前述した電極配線パターンの形成方法と同様の方法で、受光素子用電極46とレーザ素子用電極47とを基板41上に形成する。レーザ素子用電極47は、基板41の凹部に底面に形成する。

【0185】その後、前述の方法で3本のV溝をセラミック基板41に形成した後、各V溝内に光ファイバを埋め込み樹脂で固定する。このあと、3本の光ファイバを横切るように一つの平行溝を形成する。その平行溝内に一枚の光反射基体42を挿入し樹脂で固定する。

【0186】この後、半導体受光素子45及び半導体レーザアレー44を、樹脂もしくは半田材料を用いて、セラミック基板41上の所定の位置に搭載する。このとき、半導体受光素子45及び半導体レーザアレー44の位置は、それぞれ、すでに形成された電極46および47に対して調整される。

【0187】光ファイバ48の先端に形成したレンズ49が、半導体レーザ素子アレー44の対応するレーザ光出射部に相対するように、半導体レーザ素子アレー44は配置される。このため、アレー状のレーザ光を一度に各光ファイバアレーに結合することができる。また、レンズ49の凹部への突出距離を長くすれば、光ファイバの凹部へ露出する部分が長くなるため、光ファイバ48の持つ弾性によって、レンズ49の位置を半導体レーザ素子アレー44の発光領域に対して調整することが容易になる。このため、光ファイバ49の可動部を動かすことによって、半導体レーザからの出射光がレンズ49によって光ファイバ48に光学的に結合する度合を調整することができる。このような調整の後に、可動部を固定すれば、光の結合効率を最適化することができ、より大きな光出力を得ることができる。

【0188】このような光デバイスによれば、複数の光ファイバからなる光ファイバアレイによって並列伝送される波長1.55 μ m光信号をそれぞれ別々に半導体受光素子アレーで受光できると同時に、波長1.31 μ mの光信号を送出することができる。これにより、一つの装置で複数の双方向光信号伝送が可能となる。また同一基板上に、発光および受光素子配列の各々の信号処理を行う前述したような電気回路を設けておけば、より容易に小型化、経済化された光デバイスが得られる。

【0189】(実施例5)次に、図10A及び図10Bを参照しながら本発明の第5の実施例を説明する。図10Aは本実施例の平面図、図10Bはその断面図であ

る。本実施例では、凹部の形成されたガラス基板51上に受光素子及び半導体レーザ素子が配置されている。

【0190】以下、構成の詳細を説明する。

【0191】ガラス基板51の上面は、半導体レーザ素子が配置される第1の領域と、受光素子が形成される第2の領域に分けられる。第1の領域は、ガラス基板51に形成された凹部54の底面に対応する。図10Bに示されるように、第1の領域と第2の領域の間にはステップがあり、第1の領域の高さは、第2の領域の高さよりも、約60~70 μ m程度、低く形成されている。

【0192】ガラス基板51の上面の第2の領域には、1本の溝が形成され、その溝には、先端部にマルチモードファイバ53に変化している光ファイバ52が埋め込まれている。シングルモードファイバ52のコア径は10 μ mであり、マルチモードファイバ53のコア径は50 μ mのである。両ファイバの接続部では、コア径が10 μ mから50 μ mにゆるやかに連続して変化している。このような構造は、光ファイバの両端に引っ張りながら接続部を熱処理することによって得られる。

【0193】光ファイバ52を斜めに横切るように、一つの平行溝(不図示)が形成されている。この平行溝内には、波長1.55 μ mの光を反射し、波長1.31 μ m光を透過する一枚の反射基体(不図示)が挿入されている。

【0194】波長1.31 μ mのレーザ光を出射する半導体レーザ素子56が基板51の上面の第1の領域上に配置されている。ガラス基板51の上面の第2の領域上には、半導体受光素子(不図示)が配列され、反射基体によって反射された波長1.55 μ mの光信号を受け取る。

【0195】なお、ガラス基板51の上面の第1の領域上には、レーザ素子用電極58が形成されている。

【0196】半導体レーザ素子56は融点230度の半田材料を用いてあらかじめセラミック基板55上にレンズ57と共に配置され、電極58から電流を通電することによって、その特性を検査し、特性が良いものだけが選ばれる。特性不良の半導体レーザ素子56は、この段階で除去されるので、不必要に光ファイバと接続する必要がなく、経済性が図れる。

【0197】半導体レーザ素子56が配置されたセラミック基板55は、ガラス基板51上の凹部54に融点180度の半田材料を用いて接続される。半導体レーザ素子56から出射されたレーザ光はレンズ57によって約50 μ mのスポットサイズに拡大される。このため、マルチモード光ファイバ53との結合に際して、数 μ mの位置精度で高い結合効率を得ることができる。マルチモードファイバ53に結合したレーザ光はコア系が緩やかに連続して変化してシングルモードファイバ52に接続されるので散乱等の光損失を生じることなくほぼ完全に光パワーが伝送される。光ファイバ結合系の緩い実装精

度も本光デバイスの経済化に大きな貢献度合いをもつ。

【0198】(実施例6) 次に、図11A及び図11Bを参照しながら、本発明の第6の実施例を説明する。図11A及び図11Bにおいて、61はガラス基板、62はシングルモードファイバ、63はマルチモードファイバ、64は波長1.31 μ mの光信号に対して50%の反射率を有する反射基体、65は半導体受光装置、66は波長1.31 μ mの信号光を透過し波長1.55 μ mの信号光を反射する反射基体である。

【0199】シングルモードの光ファイバ62から伝送される波長1.55 μ mの信号光は反射基体66で反射されてマルチモードファイバ63に取り込まれる。マルチモードファイバ63の他端に半導体受光素子を接続し、すべてのマルチ化したモードの光パワーを受光することによりマルチモードの使用においても高品質のアナログ信号を受光することができる。マルチ化したマルチモードファイバ中のモードの光パワーを全て受光しない場合には、モーダル雑音が発生するために良好にアナログ信号を受信することができない。またシングルモードの光ファイバ62から伝送される波長1.31 μ mの信号光は反射基体64により反射されて半導体受光素子65により受光される。

【0200】(実施例7) 次に、図12A及び図12Bを参照しながら本発明の第7の実施例を説明する。図12Aは受光発光用装置の斜視図、図12Bはその断面図である。

【0201】図12A及び図12Bにおいて、71はガラス基板、72はシングルモードファイバ、73は波長1.31 μ mの信号光を透過し波長1.55 μ mの信号光を反射する反射基体、74は波長1.31 μ mの光信号に対して50%の反射率を有する反射基体、75は波長1.55 μ mの信号光を受光する半導体受光装置、76は波長1.31 μ mの信号光を受光する半導体受光装置、77は基板の外部で光ファイバ72に接続される波長1.31 μ mの半導体レーザ、78はファイバ端部を所定の曲率を持つよう加工したレンズである。

【0202】波長1.55 μ mの信号光は反射基体73で反射されて半導体受光装置75に取り込まれる。波長1.31 μ mの信号光は反射基体74により反射されて半導体受光素子76により受光される。また半導体レーザ77から出射するレーザ光はレンズ状ファイバ78に結合されて光反射基体74で50%の光が透過し双方向に光信号を伝送することができる。半導体レーザ素子77は、ガラス基板71とは別個の同様の基板上に形成されればよくまた別個の筒体に収容されるものでもよい。

【0203】(実施例8) 次に、図13を参照しながら、本発明の第8の実施例を説明する。

【0204】図13において、81はシリコン半導体基板、82はシングルモード光ファイバ、83は波長1.55 μ mの信号光を受光する半導体受光素子、84は波

長1.31 μ mの信号光を受光する半導体発光素子、85は波長1.31 μ mの半導体レーザである。図13では、不図示の光反射基体が光ファイバ82を斜めに横切るように配置されている。それらの光反射基体を介して、光ファイバ82と受光素子83、84及び発光素子85が結合される。ここで、発光素子85は、面発光型レーザであり、受光素子83及び84とともにシリコン基板81の上面に配置されている。

【0205】この光デバイスは、通常の半導体集積回路を組み立てるのと同様の実装方法で作製することが可能で、組立が容易であるために経済化が図れると共に、小型化が図れるしかも信頼性に優れたものである。

【0206】以上の実施例では、波長1.55 μ mおよび波長1.31 μ mの光デバイスを中心に説明したが、他の波長の組み合わせを用いたものでも良い。また実施例で示した構成材料等に制限を加えるものではないことは言うまでもない。

【0207】(実施例9) 以下、図14を参照しながら本発明の第9の実施例を説明する。図14は、本実施例の平面図である。

【0208】上面及び底面が平坦で、側面が上面に垂直なガラス基板101の上面に、断面が第1溝(深さ300 μ m)103が形成されている。ガラス基板101は、1.55 μ m波長の光に対して実質的に透明な材料から形成されている。この溝103内には、UV樹脂から形成された透明な皮膜で覆われたシングルモード光ファイバ(直径200 μ m)102が樹脂によって固定されている。

【0209】第2溝(溝幅約100 μ m)104が、光ファイバ102の光軸に対して所定の角度(60度)をなし、かつ、基板101の上面に垂直になるように、ガラス基板101中に形成されている。第2溝104内には、フィルタ特性を有する光反射基体(厚さ約80 μ m)105が挿入され、樹脂108によって固定されている。樹脂108は、1.55 μ m光に対して透明のエポキシ系材料から形成されており、その屈折率は光ファイバの屈折率にほぼ等しい。光反射基体105は、波長1.55 μ mの信号光のみを選択的に10%の割合で反射するように設計されている。このような光反射基体105は、例えば、シリコン酸化膜とチタン酸化膜とを石英基板上に交互に積層することによって得られる。図中、波長が1.55 μ mの双方向に光ファイバ中を伝搬する光信号は、それぞれ、参照番号100、100'で示されている。

【0210】光ファイバ102の光軸に平行な基板101の側面のうち、一方の側面に第1のInGaAs半導体受光素子106が取り付けられ、他方の側面に第2のInGaAs半導体受光素子107が取り付けられている。

【0211】図中左から伝搬してきた光信号100の一

部は、反射基体105によって反射され、第1の反射光109として第1の半導体受光素子106に入射する。光信号100の残りは、反射基体105を透過して、光ファイバ102を右方向に伝搬して行く。他方、図中右側から伝搬してきた光信号100'の一部は反射基体105により反射され、第2の反射光110として第2の半導体受光素子107に入射する。光信号100'の残りは、反射基体105を透過して、光ファイバ102を左方向に伝搬して行く。

【0212】本装置は、光ファイバの伝送路中に挿入されており、光信号100、100'が、光ファイバ102を通して双方向に伝送される。

【0213】半導体受光素子106及び107の表面には半導体層表面で光信号の反射を生じないようにあらかじめ低反射率コートが施されており、光ファイバ102を伝搬する波長1.55 μ mの光信号の一部が半導体受光素子106及び107に取り込まれる。ここで用いる半導体受光素子106及び107は、波長1.55 μ mの光信号に対して透明なInP半導体結晶基板が使われるので、光信号の入射方向は結晶成長層側もしくは結晶基板側のいずれでも良い。

【0214】この受光用装置によれば、光ファイバ部の伝送損失が2.0dB程度と小さくすることができる。また、光ファイバ102からの光信号出射点と半導体受光素子の受光部との距離を一定に、しかも数ミリ以内程度に近く設定できるので、光信号が空間的に拡がって半導体受光素子の受光部以外に到達して受光効率を下げることはない。このため、光ファイバ102を伝搬する波長1.55 μ mの光信号のうち反射基体105で反射される成分(反射光109)の80%以上が半導体受光素子106に取り込まれ高い効率が容易に得られる。同様に、光ファイバ102を伝搬する波長1.55 μ mの光信号のうち第1基体105で反射する成分(反射光110)の80%以上が半導体受光素子107に取り込まれ高い効率が得られる。

【0215】しかも、従来の受光用光デバイスのように光ファイバの光出射端面やレンズ端面や半導体受光素子端面等の複数の端面間での光信号の多重反射効果による信号劣化等の問題が無く、高い信号品質を必要とするアナログ光信号伝送系の受光用としても用いることができる。また全ての構成要素が、ガラス基板101に対して固定されているので、外部からの振動や外部の温度変化に伴う位置ずれで特性が変化するという問題が無く長時間の信頼性にも優れている。

【0216】(実施例10)次に、図15を参照しながら、本発明の第10の実施例を説明する。

【0217】なお、以下の説明において、既説明と同一の箇所には同一の番号を附し、説明を省略する。

【0218】図15に示されるように、1.55 μ m波長の光に対して透明なプラスチック材料からなる基板2

01の上面に、前記実施例と同様に、深さが200 μ mで断面が矩形形状の第1溝203が形成されている。この第1溝203の中に、ナイロン樹脂からなるコーティング皮膜を有するシングルモード光ファイバ(直径900 μ m径)202が埋め込まれている。

【0219】第2溝204は、基板201の基板の主面に対して傾斜するようにして、基板201中に形成されている。本実施例では、基体205を光ファイバの光軸に対して60度傾斜させている。第2溝204の断面は概略矩形で溝幅が50 μ mである。第2溝204内には、厚さ30 μ mの石英基板上に金(Au)薄膜を500オングストロームの厚みで形成した半透過・半反射特性を有する光反射基体205がエポキシ樹脂とともに埋め込まれている。

【0220】透明基板201の上面には、受光径300 μ mのInGaAs半導体受光素子206が表面実装技術によって搭載されている。透明基板201の底面には、受光径300 μ mのInGaAs半導体受光素子207が、カンパッケージに封入された状態で、配置されている。

【0221】光信号100の一部は、基体205により反射し、反射光208として、半導体受光素子206に入射する。光信号100'の一部は、基体205により反射して、反射光209として半導体受光素子207に入射する。

【0222】本装置は、光ファイバの伝送路中に挿入され、光信号100、100'が、光ファイバ202を通して双方向に伝送される。

【0223】第2溝204に埋め込んだ樹脂は、その屈折率が光ファイバ202から取り出される光信号に対して屈折や反射を生じないように選ばれたものである。半導体受光素子206の表面には半導体層表面で光信号の反射を生じないようにあらかじめ低反射率コートが施されており、光ファイバ202を伝搬する波長1.55 μ mの光信号の一部が半導体受光素子206に取り込まれる。ここで用いる半導体受光素子207は波長1.55 μ mの光信号に対して透明InP半導体結晶基板が使われるので光信号の入射方向は結晶成長層側もしくは結晶基板側のいずれでも良い。本実施例でも、前述の実施例9により得られる効果と同様の効果が得られる。

【0224】(実施例11)次に、図16を参照しながら、本発明の第11実施例を用いて説明する。なお、以下の説明において、既説明と同一の箇所には同一の番号を附し、説明を省略する。

【0225】図16に示されるように、1.55 μ m波長の光に対して実質的に透明なガラス基板301上に、深さが200 μ mで断面が矩形形状の第1溝303が形成されている。第1溝303内には、125 μ m径のシングルモード光ファイバ302が埋め込まれている。

【0226】ガラス基板301の上面に、その上面に対

して斜めに第2溝304が形成されている。第2溝304は、断面が概略矩形形状で溝幅が $20\mu\text{m}$ である。ポリミドフィルム上にシリコン酸化膜とチタン酸化膜を交互に積層した $1.55\mu\text{m}$ 光を10%の割合で反射するフィルタ特性を有する厚さ $10\mu\text{m}$ の光反射基体305が第2溝304内に挿入されている。

【0227】ガラス基板301上には、受光径 $300\mu\text{m}$ のInGaAs半導体受光素子306及び307が表面実装技術によって固定されている。

【0228】ガラス基板301の底面には、金(Au)薄膜からなる反射器308が形成されている。光信号100の一部は、基体305によって反射した後、反射器308により更に反射され、反射光309として半導体受光素子306に入射する。光信号100'の一部は、基体305により反射され、反射光310として半導体受光素子307に入射する。

【0229】この受光用光デバイスによれば、基体305上の反射光310が形成される点と半導体受光素子307の受光部との距離を一定でしかも $100\sim300\mu\text{m}$ 程度に短く設定できるので、光信号が空間的に拡がって半導体受光素子307の受光部以外に到達して受光効率を下げることがない。また、基体305からの反射光309の90%以上が半導体受光素子307に取り込まれ、高い光-電流変換効率が容易に得られる。しかも、従来の光デバイスで問題であった光ファイバの光出射端面やレンズ端面や半導体受光素子端面等の複数の光学素子端面間での光信号の多重反射効果による信号劣化等の問題が無く、高い信号品質を必要とするアナログ光信号伝送系の受光用としても用いることができる。また全ての構成要素が、ガラス基板301に対して固定されているので、外部からの振動や外部の温度変化に伴う位置ずれで特性が変化するという問題が無く長時間の信頼性にも優れている。配列した半導体受光素子306、307は同一の半導体基板上に形成された半導体受光素子でも良い。

【0230】次に、図17を参照しながら、光ファイバ302を横切って形成される第1溝303を通過する波長 $1.55\mu\text{m}$ の光信号の損失について説明する。図17は、光通信に通常用いられる種類のシングルモードファイバ(コア半径 $\omega=5\mu\text{m}$)の間隙による光損失の計算結果と実験結果とを示している。

【0231】本実施例で用いられる光ファイバの屈折率($n=1.5$)とほぼ同程度の屈折率を持つ樹脂で間隙が充填されている場合には、 $20\mu\text{m}$ の間隙に対して0.2dB程度のわずかな結合損失しか生じない。この結合損失は、一つめにはファイバ間の間隙を小さくすることで、二つめには光ファイバのコア径を大きくすることで減らすことができる。図17には、コア半径 $\omega=10$ 、 $\omega=15\mu\text{m}$ の場合の計算結果も示されている。間隙が同じ大きさの場合であっても、コア半径 ω が大き

なると、光損失が大幅に低減されることが分かる。

【0232】図18A及び図18Bは、それぞれ、通常の光ファイバ401及び部分的にコア径が拡大された光ファイバ404を示している。

【0233】図18Aに示されるように、通常の光ファイバ401は、一定の径を持つコア402がクラッド403で覆われた構成を有している。これに対して、光ファイバ404のコア402は、他の部分より径の大きくなった部分405を横切るように第2溝を形成すれば、第2溝の間隙による信号伝送損失を低減することができる。

【0234】この受光用光デバイスを製造する場合において、各構成部分の組立工程時に、光ファイバからの光信号を検出しながら各部品の位置を調整する必要がない。このため、このような受光用装置は、シリコン集積回路の実装技術分野で用いられる実装装置を用いて製造することができるので、短時間での大量の製造に適しており低価格が期待できる。なお、さらに異なる波長の光信号に対しても同様の方法を用いて製造することができるのは説明を要しない。

【0235】(実施例12)次に、図19を参照しながら、本発明の第12の実施例を説明する。

【0236】本実施例の装置は、図14の装置と類似の構成を有しており、同一の箇所には同一の番号を付し、説明を省略する。

【0237】図19の装置において特徴的な点は、ガラス基板101の主面に幅 $20\mu\text{m}$ で断面が概略矩形形状の第3溝601が形成されており、その中に、 $1.48\mu\text{m}$ の光を選択的に反射する第2反射基体602が挿入されている点にある。

【0238】このような構成を採用したことによって、波長が $1.3\mu\text{m}$ 、 $1.48\mu\text{m}$ 及び $1.55\mu\text{m}$ の光を含む双方向信号600が、図中左から光ファイバ102を伝搬してきた場合、第2反射基体602により波長 $1.48\mu\text{m}$ の光が選択的に反射され、反射光603として、図中左方向へ伝搬される。双方向信号600'は、波長が $1.3\mu\text{m}$ 及び $1.55\mu\text{m}$ の信号光を含む。

【0239】このような装置は、好ましくは、希土類元素であるエルビウムが添加(ドーピング)された光ファイバ増幅器(EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier)に接続して用いられる。光ファイバ増幅器の励起(ポンピング)には、波長 $1.48\mu\text{m}$ の励起光が用いられる。第2基体602は、この励起光が受光素子106に入射するのを防止するため、受光素子106の出力に含まれる雑音成分を低減する。これにより、受光素子106、107は、 $1.55\mu\text{m}$ 波長の光信号成分のみを検出することができる。

【0240】この装置では、受光素子106は光ファイバ増幅器の出力モニタのため用いられ、受光素子107

は、外部から光ファイバ増幅器に反射して戻ってくる反射光モニタのために用いられる。

【0241】本実施例でも、第2の基体602と第3溝の側壁との間には、光ファイバの屈折率とほぼ等しい屈折率を持ち樹脂が充填されている。このため、信号光の屈折や散乱反射が抑制されたため、伝送損失はほとんど増加しない。励起光をフィルタリングするための光学部材が、ガラス基板101に一体化されているため、機械的な振動に対して高い信頼性を有する装置が提供される。

【0242】(実施例13)次に、図20を参照しながら、本発明の第13の実施例を説明する。

【0243】本実施例では、図16の実施例(実施例11)の光デバイスを、電気増幅器と共に基板上に集積化している。

【0244】前述のように、ガラス基板301の溝内に光ファイバ701および701'の一部が埋め込まれている。電気配線パターン703がガラス基板301上にあらかじめ形成され、その電気配線パターン703に接続されるように、受光素子306及び307と、プリアンプ回路を有する電気集積回路素子702とがガラス基板301上に形成されている。

【0245】ガラス基板301は、パッケージ705の底部に導電性樹脂によって固定される。その後、パッケージ705を突き抜ける各電気接続端子704の一端と、ガラス基板301上の電極配線パターン703とを、アルミからなる電気接続ワイヤ703によって接続する。光ファイバ701は、光ファイバ取り出し口を介してパッケージ705内から外部へ延びる。次に、光ファイバ取り出し部に樹脂を充填することによって、気密処理を施した後、パッケージ705にその蓋部を取付ける。

【0246】この装置の製造に際しては、図20の紙面に垂直な方向に各部品を高精度に位置決めする必要がなく、紙面に平行な面内での位置決めをすればよい。従って、半導体集積回路の実装分野で使用される通常の実装装置を用いて容易に作製することができる。なお、全ての構成部品はパッケージ705に固着されているので、機械的な振動に対して、高い信頼性を有する。

【0247】このように本発明によれば、光ファイバを用いて双方向光伝送システムに用いる光デバイスの小型化、集積化、軽量化をはかると共に、生産性を向上させて低コスト化を達成することができる顕著な効果があり、産業上大きな意義を有する。

【0248】(実施例14)以下、図21及び図22を参照しながら、本発明の第14の実施例を説明する。本実施例では、幅150 μ m、深さ150 μ mの断面矩形形状を有する第1溝1103がガラス基板1101の上面に形成されている。光ファイバ1102の一方の端部が第1溝1103内に埋め込まれ、透明のエポキシ系

樹脂材料によって固定されている。ガラス基板1101には、ダイシングソーによる切断によって傾斜した端面1104が形成されている。本実施例では、端面1104の法線方向は、光ファイバ1103の光軸と30度の角度を為すように形成されている。後述する理由から、この角度は5度から40度の範囲内に設定される。

【0249】傾斜端面1104上には反射器1105が樹脂によって貼り付けられ、固定されている。反射器1105は、石英基板上にチタン(Ti)と金(Au)を積層することによって形成されている。ガラス基板1101の上面には、InGaAs半導体受光素子1106が設けられている。1.3ミクロンの光信号1107は、反射器1105によって反射され、反射光1108として半導体受光素子に入射する。

【0250】本実施例でも、樹脂の屈折率は光ファイバ1102の屈折率と同程度に設定されている。このため、端面1104の切断による物理的な荒れ(微細な凹凸)は、光学的には存在しない状態に等しくなるので、光信号の散乱は生じない。光信号の反射方向に配置された半導体受光素子1106により光信号は効率的に電気信号に変換される。

【0251】この受光用光デバイスによれば、光ファイバ1102の光信号出射点と半導体受光素子1106の受光部との距離を一定に、しかも60から300ミクロン程度に短く設定できる。このため、光信号が空間的に拡がって半導体受光素子の受光部以外に到達して受光効率を下げることなく、光ファイバ1102を伝搬する波長1.3ミクロンの光信号の90%以上が半導体受光素子1106に取り込まれる。その結果、高い受光効率が容易に得られる。

【0252】次に、図22は、リターンロスの端面傾斜角度依存性を示す。図22のグラフの横軸は、反射器1105の法線と光ファイバ1102の光軸とがなす角度を示し、縦軸は、光ファイバ1102の入射側から見たリターンロス(光学的な反射率)を示している。

【0253】角度が5度以下の場合、反射器1105の表面からの反射戻り光が光ファイバ1102に帰還される。また角度が40度以上(45度以上の時は構成上考慮しない)の場合、半導体受光素子1106表面からの反射戻り光が光ファイバ1102に帰還される。

【0254】反射戻り光が大きい場合には、外部の光コネクタの反射端面との間で多重反射が引き起こされ、受光信号の品質を劣化させる。しかしながら、本発明では角度を5度から40度の範囲に設定するので、図22から明らかなように、光ファイバの光出射端面や従来の受光素子で用いられているレンズの端面や半導体受光素子端面等の複数の光学的な端面間での多重反射による信号劣化等の問題が無く、高い信号品質を必要とするアナログ光信号伝送系の受光用としても用いることができる。

【0255】また、本発明の形態においては、レンズ等

の光学部品を用いていないので小型であると同時に、全ての構成要素がガラス基板1101に対して固定されているので、外部からの振動や外部の温度変化に伴う位置ずれで特性が変化するという問題が無く長時間の信頼性にも優れている。

【0256】次に、図23Aから図23Dを参照しながら、受光用装置の製造方法を説明する。

【0257】まず、図23Aに示すように、断面矩形形状を有する第1の溝1103を機械的な切削によってガラス基板1101の上面に形成する。ガラス基板1101の上面には、あらかじめ電極材料を真空蒸着し、続くフォトリソグラフィ工程及びエッチング工程によって所望の電極パターンを形成しておく。これらの工程で、同時に、端面1104が形成される位置及び受光素子が配置される位置を表示する「位置合わせ用マーク（不図示）」をガラス基板1101の上面に形成する。

【0258】次に、図23Bに示すように、光ファイバ1102を樹脂材料とともに第1の溝1103中に埋め込む。この後、樹脂を硬化する。

【0259】次に、ガラス基板1101の上記「位置合わせマーク」によって示される部分、すなわち図23Bにおいて破線で示される部分を、ワイヤソーやダイシングソーと呼ばれる切断装置を用いて切断する。こうして、図23Cに示すように、光ファイバ1102の光軸に対して所定の角度で基板端面1104を形成する。

【0260】次に、図23Dに示すように、基板端面1104に樹脂を介して光反射基体1105を貼り付け、固定する。また、樹脂を用いて、半導体受光素子1106を、位置合わせマークが示す所定の位置に配置する。樹脂材料として紫外線光を外部から照射することにより硬化するものを用いれば、長時間の硬化時間を必要とせず所定の位置に半導体受光素子を固定することができる。

【0261】この受光用装置は、光ファイバからの光信号を検出しながら位置を調整する必要がなく、既存のシリコン集積回路の実装手段に用いられる類の全て2次元的な実装手段を用いて製造することができるので、短時間での大量の製造に適しており低価格が期待できる。

【0262】（実施例15）次に、図24を参照しながら、本発明の第15の実施例を説明する。

【0263】光信号波長に対して透明のガラス基板1401、光ファイバ1402、ガラス基板1401中に形成された幅150 μ m、深さ150 μ mの断面矩形形状を有する第1の溝1403で透明のエポキシ系樹脂材料により光ファイバ1402の一部が埋め込まれて固定されている。

【0264】1404は基板端面、1405は反射器、1406は半導体受光素子、1407は1.3 μ m光信号、1408は反射光であり、図21の実施例と同様のものである。光信号1407は光ファイバ1402中を

伝搬した後基板端面1404上に貼り付け固定された反射器1405により上方に反射して光ファイバ1402の外部に取り出され、透明ガラス基板1401の中を通過して基板の主面上に配置された半導体受光素子1406の受光部に到達して電気信号に変換される。この受光用装置においても、実施例14について説明したような優れた特性が得られる。

【0265】（実施例16）次に、図25、図26A及び図26Bを参照しながら、本発明の第16の実施例を説明する。図25において、1501はシリコン基板、1502は光ファイバ、1503は幅140 μ mの第1の溝、1504は基板端面、1505は反射器、1506は第3の溝である幅20 μ mのスリットで基板1501の主面内に於いて光ファイバの光軸に対して所定の角度を為す。1507はポリイミドフィルム上の誘電体多層膜からなる波長1.3 μ m光を透過し波長1.55 μ m光を反射するフィルタ、1508はInGaAs半導体受光素子、1509は光ファイバと概略同程度の屈折率のエポキシ系樹脂、1510は波長1.3 μ mと1.55 μ mの光信号、1511は1.3 μ mの反射光である。

【0266】本光デバイスの構成では、2波長の信号光の内から選択的に一方の波長の信号を受光することができる。波長数や選択される波長の種類は、フィルタ1507を適当に選ぶことにより選択することができることは言うまでもない。

【0267】次に、本光デバイスの受光部の詳細について、図26A及び26Bを参照しながら説明する。

【0268】図26において、1601は基板、1602は半導体受光素子、1603は半導体受光素子1602の受光部、1604は半導体受光素子1602の電極、1605はあらかじめ基板1601の主面上にもうけられた金（Au）材料からなる突起部を有する基板電極、1606はエポキシ樹脂である。

【0269】図26Aは、樹脂固定前の半導体受光素子1602と基板電極1605の位置関係を示している。図26Bは、半導体受光素子1602と基板1601の間にエポキシ樹脂1606で接着固定されている様子を示しており、電極1604と基板電極1605とが電気的に良好な接続が得られる。

【0270】（実施例17）次に、図27を参照しながら、第17の実施例を説明する。

【0271】図27に於いて1701は厚さ40 μ mの石英基板上に誘電体多層膜を積層した波長1.55 μ m光を透過し波長1.3 μ m光を反射するフィルタである。なお既説明と同一の箇所には同一の番号を付し説明を省略する。フィルタ1701は半導体受光素子1508を基板1501に樹脂1509に固定する前に、その間に同じ樹脂を用いて基板1501上に接着固定され、反射光1511は半導体受光素子1508の受光部に到達する前にこのフィルタ1701を通過するように設置

されている。これにより発明の実施の形態で説明したと同様な波長選択性のある受光特性が得られる。半導体受光素子の受光部に直接フィルタが形成されている場合にも同様の効果が得られる。

【0272】(実施例18)次に、図28を参照しながら、本発明の第18の実施例を説明する。図28に於いて、1801は基板、1802はファイバコネクタの構成部品であるフェルール、1803はフェルール中の光ファイバ、1804は第二の溝であるスリット、1805は反射器、1806は第一の溝、1807は半導体受光素子、1808は光信号、1809は反射光である。フェルール1802は基板1801上に固定されており、後に形成されるファイバコネクタを介して外部の光伝送路に接続される。あらかじめフェルール1802を接続しておくことにより容易にファイバコネクタが形成できる利点がある。また光デバイスの製造工程に於いて、長尺の光ファイバをひきずることが無く、その扱いが容易となる利点がある。光ファイバの他方の端について説明を省略したが、同様のフェルールを設けておけば両側に光コネクタが容易に形成され、外部の光ファイバ伝送路との接続が容易となる。

【0273】次に図29Aから図29Eを参照しながら本実施例の製造方法を説明する。

【0274】図29Aに示されるように、基板1801の上面に複数の第1溝1806を平行に形成する。この後、図29Bに示されるように、フェルール1802のついた複数の光ファイバ1803を、それぞれ、対応する第1溝1806中に樹脂材料を用いて埋め込み固定する。次に、図29Cに示されるように、光ファイバ1801を横切るように、基板1801の上面に対して斜めに(所定の角度で)第2溝1804を形成する。

【0275】次に、図29Dに示されるように、一枚の反射基体1805を樹脂材料とともに第1溝1804内に挿入し固定した後、各半導体受光素子1807を基板1801上に配置する。この後、図29Eに示されるように、各光デバイスをそれぞれのユニットに分割する。

【0276】このように製造方法は、第1溝1806および第2溝1804を形成する工程が、複数の光デバイスに関して一度に処理されるため、量産化に適している。

【0277】(実施例19)図31A及び図31Bを参照しながら、本発明の第19の実施例を説明する。

【0278】本実施例では、受光素子等と一体化された第1基板1901が、上面に段差の形成された第2基板1902の上に搭載され、一個の光ファイバモジュールを構成している。第1基板1901には第1溝1903が形成され、その中に光ファイバ1904が樹脂で固定されている。また、第2溝1905およびその中に挿入された光反射基体1906が光ファイバ1904を斜めに横切っている。前述の実施例と同様に、第2溝190

5の中では光反射基体1906を樹脂が包み込んでおり、第1基板1901の上面にあって光反射基体1906によって反射された光を受け取れる位置には、受光素子1907が樹脂によって固定されている。これらの樹脂の屈折率は、光ファイバのコア部の屈折率とほぼ等しい。

【0279】第1基板1901と第2基板1902とは、例えばシルバーペーストのような接着剤1910によって図31Bに示すように固着される。第2基板1902は、厚い部分と薄い部分とから構成されており、厚い部分の上部には、光ファイバ1904の先端部を支持・固定するためのV溝1908が形成されている。第2基板1902は、例えばシリコン基板の上面の選択された領域を部分的にエッチングすることによって形成される。

【0280】第2基板1902上に半導体レーザ素子1909が実装された後、半導体レーザ素子1909が所定の特性を示す良品か否かを判断するためのスクリーニング試験が行われる。一般に、半導体レーザ素子1909の信頼性歩留りは100%でないため、上記スクリーニング試験によって、半導体レーザ素子1909の不良品が排除される。スクリーニング試験は、受光素子1907や光ファイバ1904が固定された第1基板1901を第2基板1902上に搭載する前に行われ得る。

【0281】第2基板1902に設けた段差の高さは、第1基板1901の厚さに応じて調整される。第1基板1901の厚さが、例えば350 μ mで、第1基板1901に形成された第1溝1903の深さ(光ファイバ1904のコア径に対応する)が70 μ mの場合、第2基板1902の段差高さは、270~290 μ m程度に設定される。そうして、図31Bに示すように、光ファイバの光軸の位置と半導体レーザ素子の発光位置とを整合させることができる。基板1901、1902には、前述の実施例について述べたように、電極配線パターン(不図示)が形成されている。

【0282】このような光ファイバモジュールによれば、半導体レーザ素子1909からの信号光を光ファイバ1904に効率的に入射させ、しかも、光ファイバ1904を伝搬してきた信号光をインライン配置された受光素子1907で効率的に受け取ることができる。本実施例によれば、一般家庭の加入者端末を小型化・低価格化することができる。

【0283】

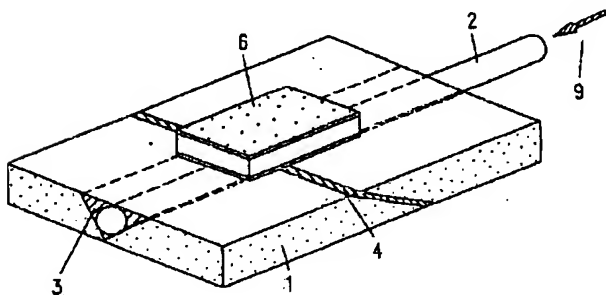
【発明の効果】以上説明したように、本発明は低損失化、小型化、低価格化、高信頼性化が可能な光デバイスとその製造方法を提供するものであり、中継伝送系、加入者系、構内伝送系等のさまざまな光ファイバ通信システムの構築に向けて大きく貢献するものであり産業上大きな意義を有するものである。

【図面の簡単な説明】

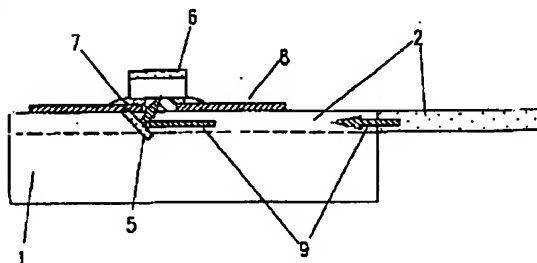
- 【図1 A】本発明の光デバイスの第1実施例の斜視図
 【図1 B】本発明の光デバイスの第1実施例の光ファイバに沿った断面図
 【図2】反射基体及びその周辺を詳細を示す断面図
 【図3】他の反射基体及びその周辺を詳細を示す断面図
 【図4 A】光ファイバ及び受光素子の横断面図
 【図4 B】光ファイバ及び受光素子の縦断面図
 【図4 C】信号光の屈折を示す縦断面図
 【図5】本発明の光デバイスの第2実施例の光ファイバに沿った断面図
 【図6】ファイバ間の結合損失の間隔依存性を示す説明図
 【図7 A】本発明の光デバイスの第3実施例の回路図
 【図7 B】本発明の第3実施例の斜視図
 【図7 C】本発明の第3実施例の平面図
 【図8】パッケージされた本発明の第3実施例の構成図
 【図9 A】本発明の光デバイスの第4実施例の平面図
 【図9 B】本発明の第4実施例の光ファイバに沿った断面図
 【図10 A】本発明の光デバイスの第5実施例の平面図
 【図10 B】本発明の第5実施例の光ファイバに沿った断面図
 【図11 A】本発明の光デバイスの第6実施例の斜視図
 【図11 B】本発明の第6実施例の断面図
 【図12 A】本発明の光デバイスの第7実施例の斜視図
 【図12 B】本発明の第7実施例の断面図
 【図13】本発明の光デバイスの第8実施例の斜視図
 【図14】本発明の光デバイスの第9実施例の平面図
 【図15】本発明の光デバイスの第10実施例の断面図
 【図16】本発明の光デバイスの第11実施例の断面図

- 【図17】異なるコア径を持つ光ファイバにおける光結合損失特性を示すグラフを示す図
 【図18 A】通常の光ファイバの断面模式図
 【図18 B】部分的にコア径を拡大した光ファイバの断面模式図
 【図19】本発明の光デバイスの第12実施例の平面図
 【図20】本発明の光デバイスの第13実施例の構成図
 【図21】本発明の光デバイスの第14実施例の断面図
 【図22】本発明の第14実施例におけるリターンロスと角度依存性を示すグラフを示す図
 【図23 A】第14実施例の製造方法を示す斜視図
 【図23 B】第14実施例の製造方法を示す斜視図
 【図23 C】第14実施例の製造方法を示す斜視図
 【図23 D】第14実施例の製造方法を示す斜視図
 【図24】本発明の光デバイスの第15実施例の断面図
 【図25】本発明の光デバイスの第16実施例の断面図
 【図26 A】第16実施例の構成図
 【図26 B】第16実施例の構成図
 【図27】本発明の光デバイスの第17実施例の断面図
 【図28】本発明の光デバイスの第18実施例の断面図
 【図29 A】第18実施例の製造方法を示す斜視図
 【図29 B】第18実施例の製造方法を示す斜視図
 【図29 C】第18実施例の製造方法を示す斜視図
 【図29 D】第18実施例の製造方法を示す斜視図
 【図29 E】第18実施例の製造方法を示す斜視図
 【図30】従来の光デバイスを示す模式図
 【図31 A】本発明の光デバイスの第19実施例の斜視図
 【図31 B】本発明の光デバイスの第19実施例の断面図

【図1 A】

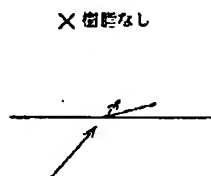
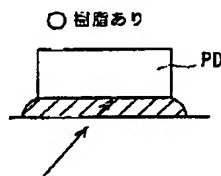
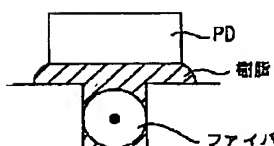


【図1 B】



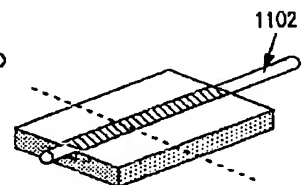
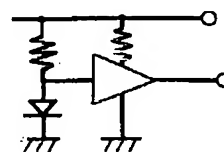
【図4 A】

【図4 C】

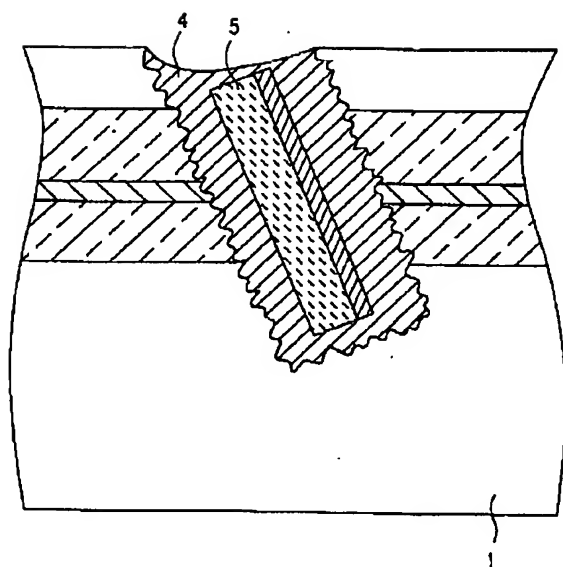


【図7 A】

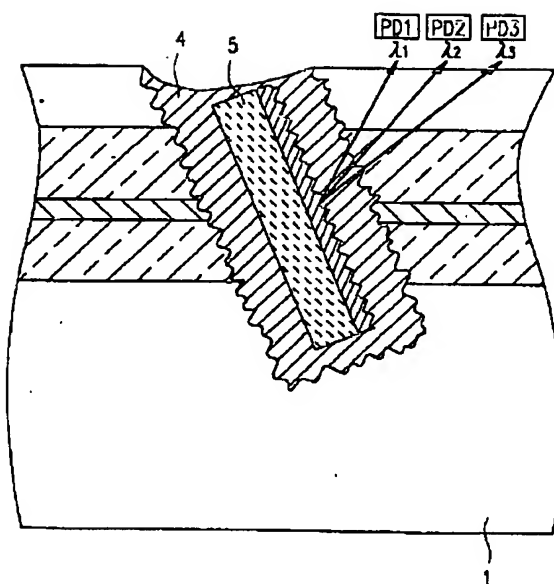
【図23 B】



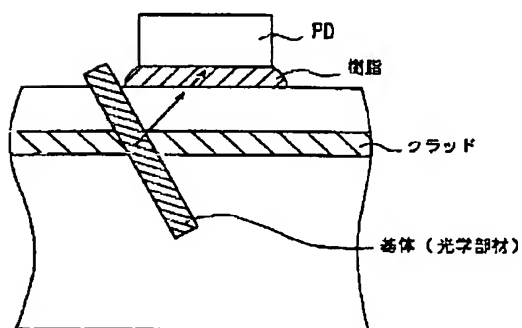
【図2】



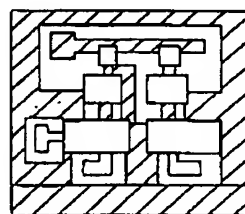
【図3】



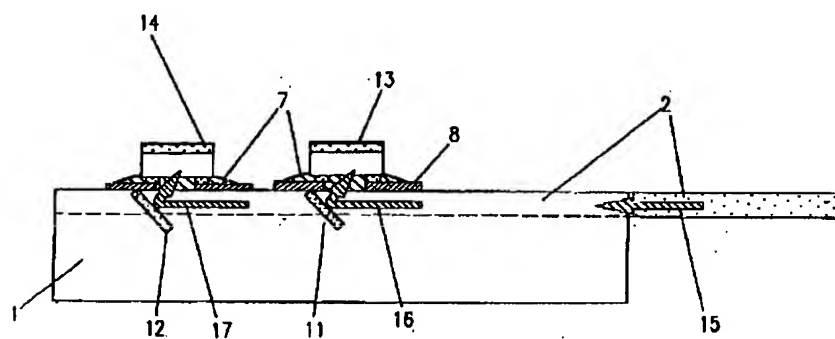
【図4B】



【図7C】

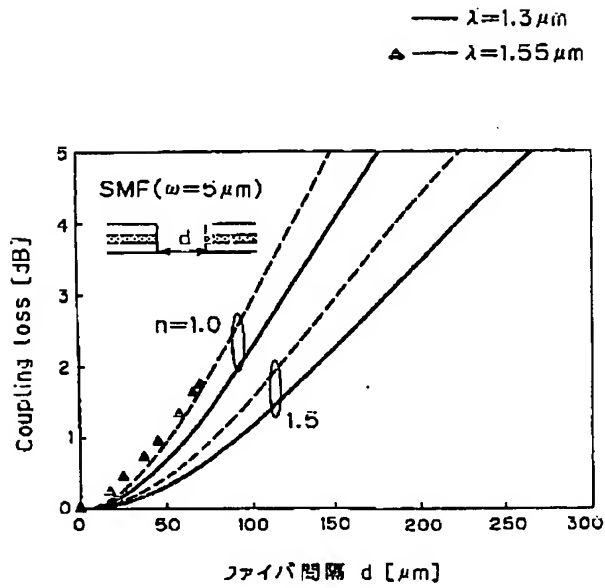


【図5】

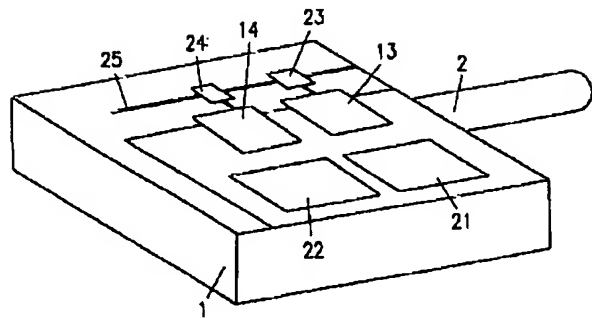


【図6】

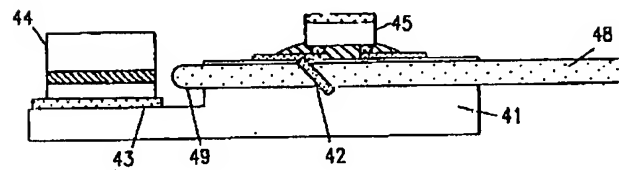
ファイバ間結合損失の間隔依存性



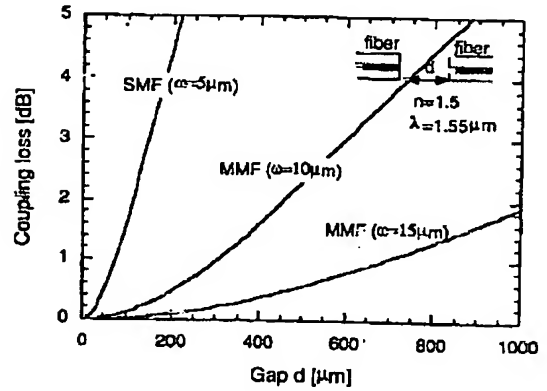
【図7B】



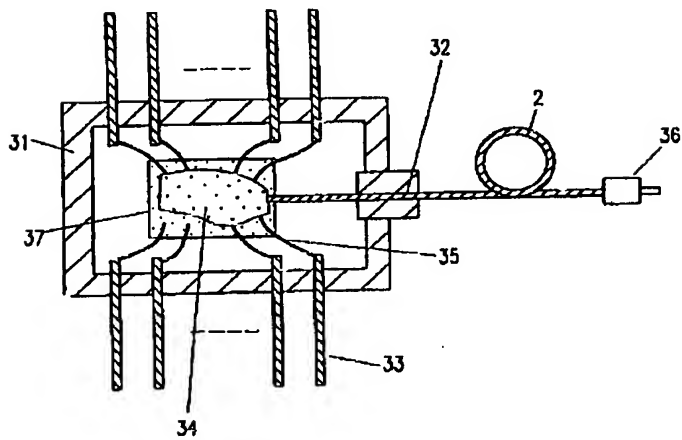
【図9B】



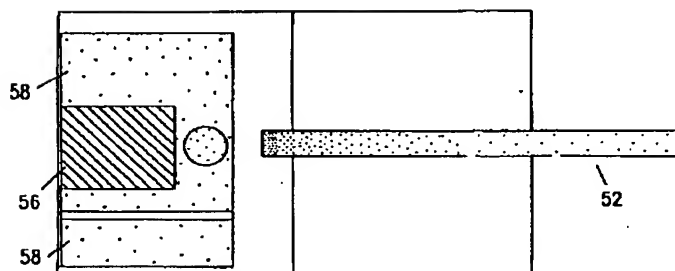
【図17】



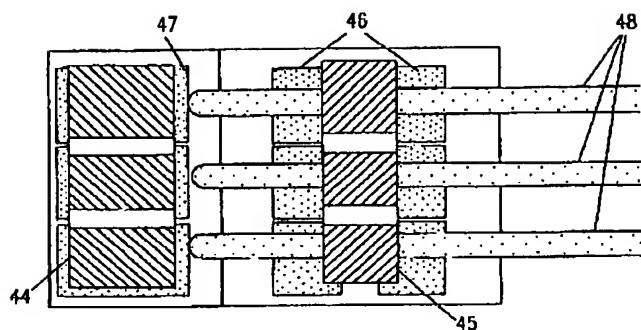
【図8】



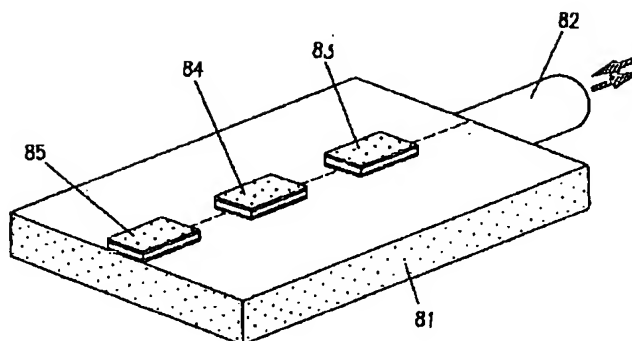
【図10A】



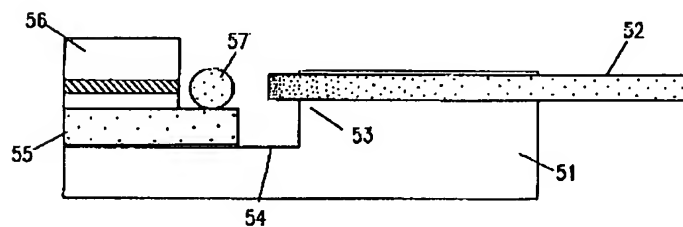
【図9A】



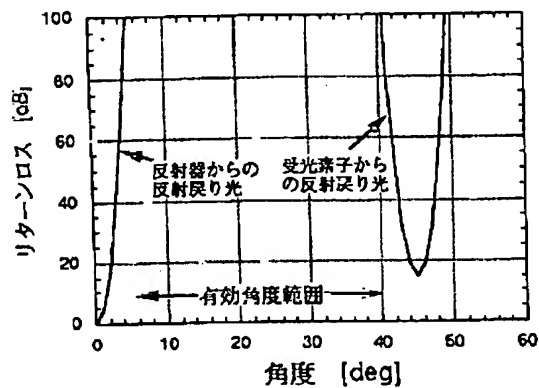
【図13】



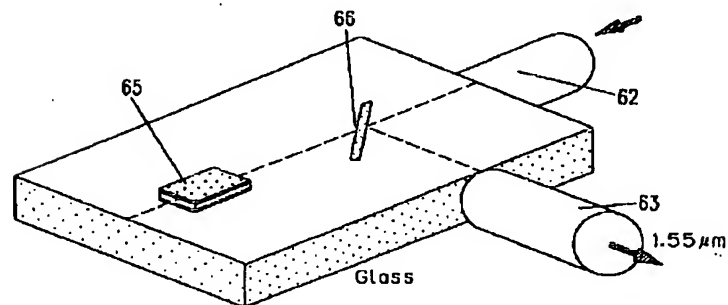
【図10B】



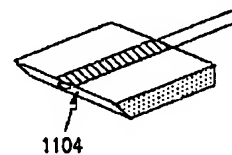
【図22】



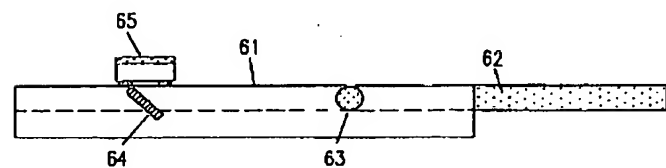
【図11A】



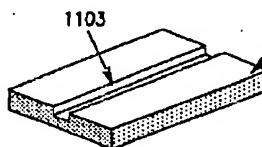
【図23C】



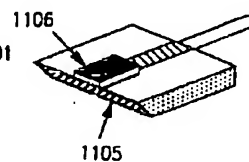
【図11B】



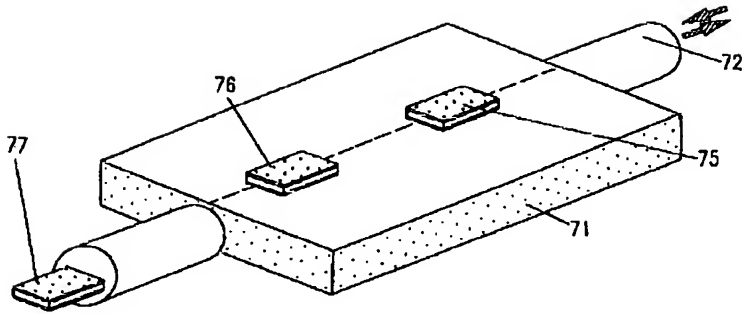
【図23A】



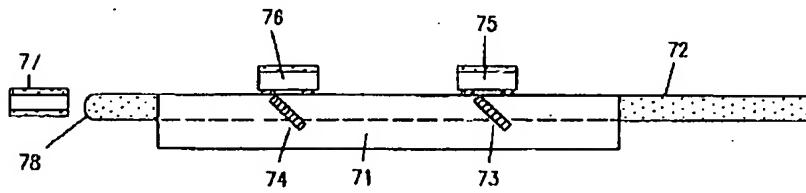
【図23D】



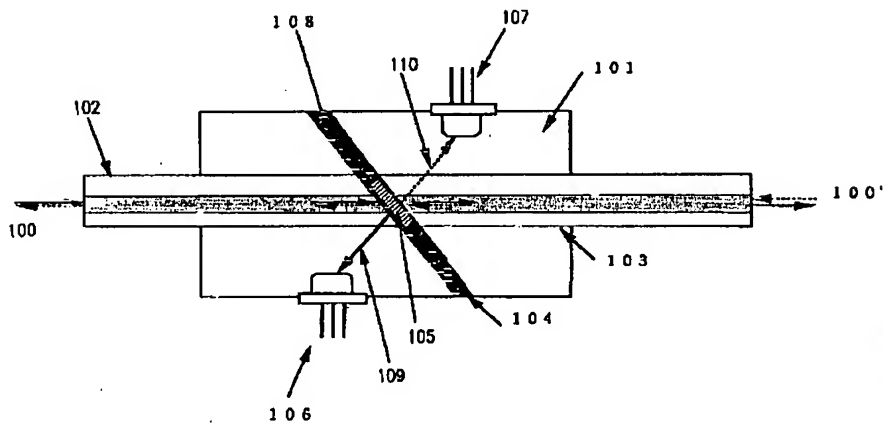
【図12A】



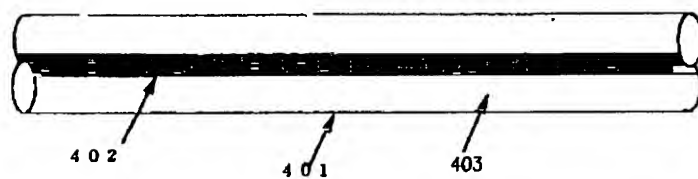
【図12B】



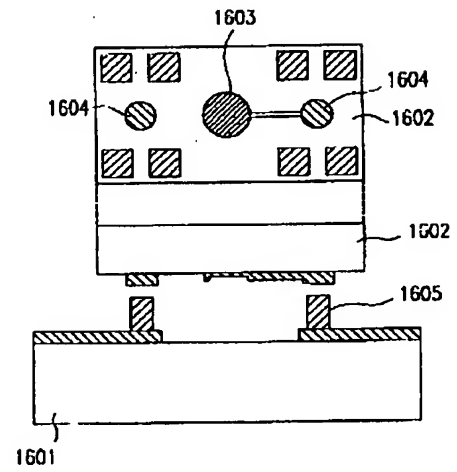
【図14】



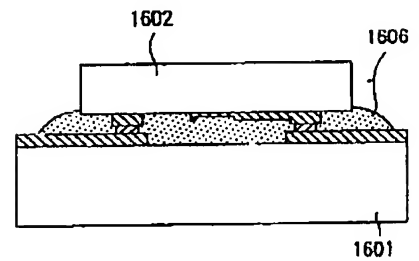
【図18A】



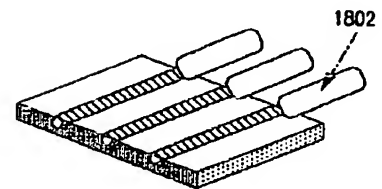
【図26A】



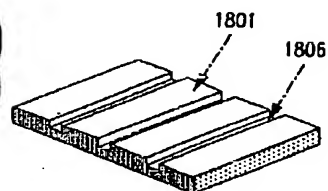
【図26B】



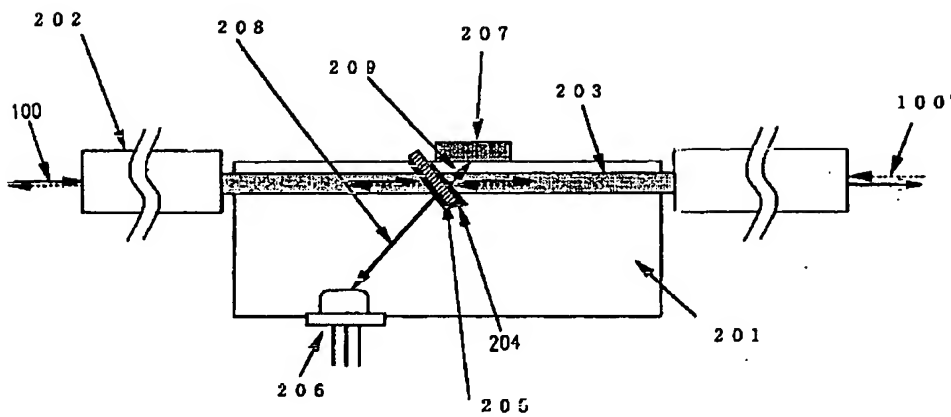
【図29B】



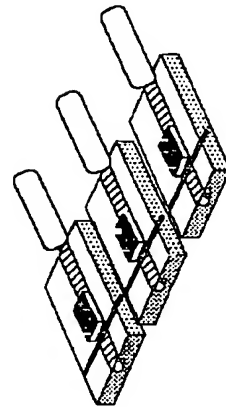
【図29A】



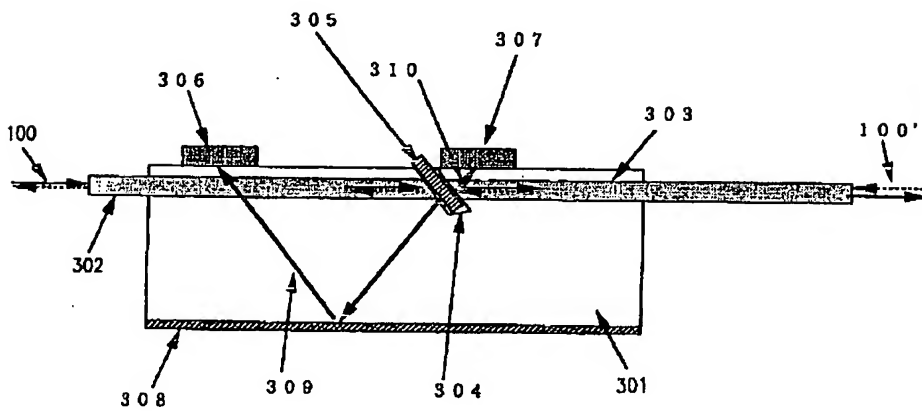
【図15】



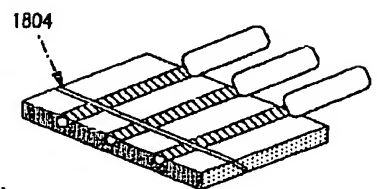
【図29E】



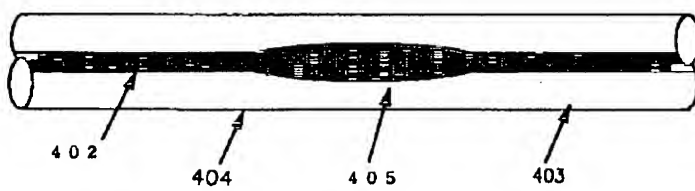
【図16】



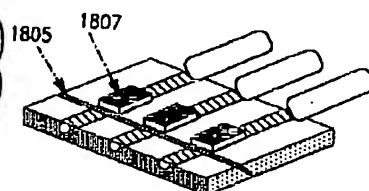
【図29C】



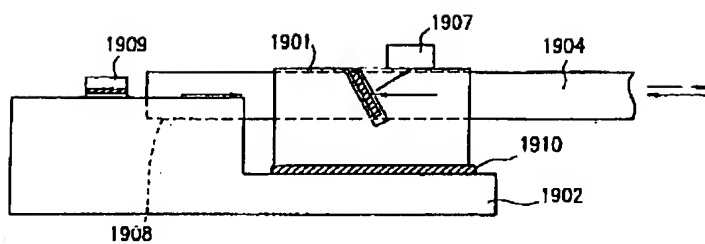
【図18B】



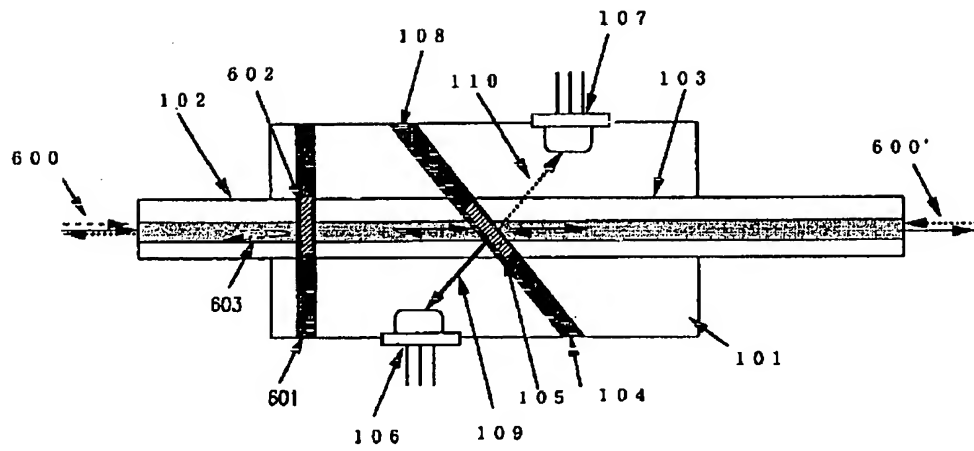
【図29D】



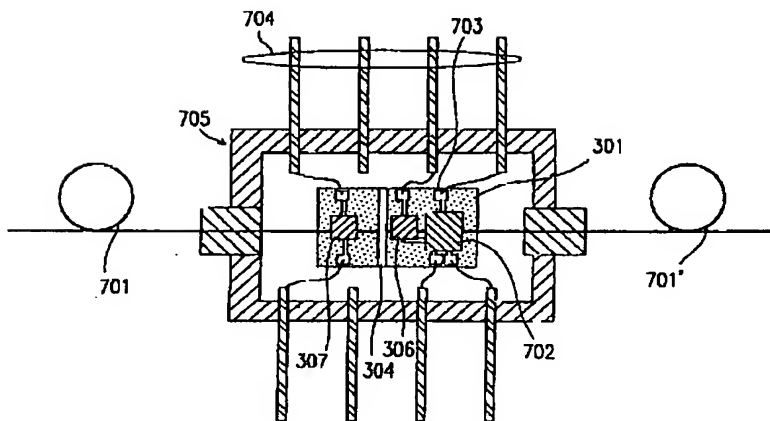
【図31B】



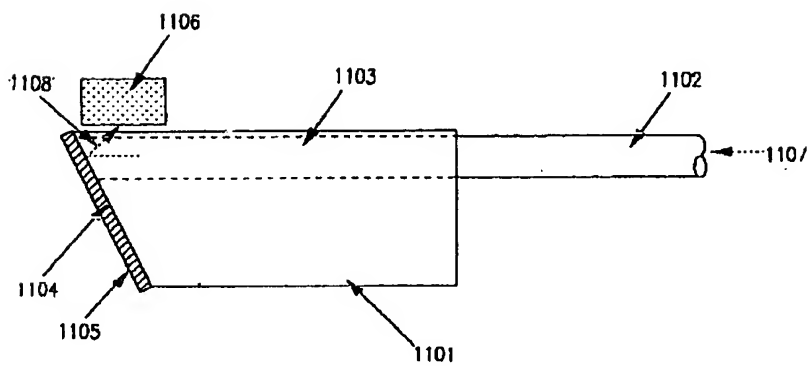
【図19】



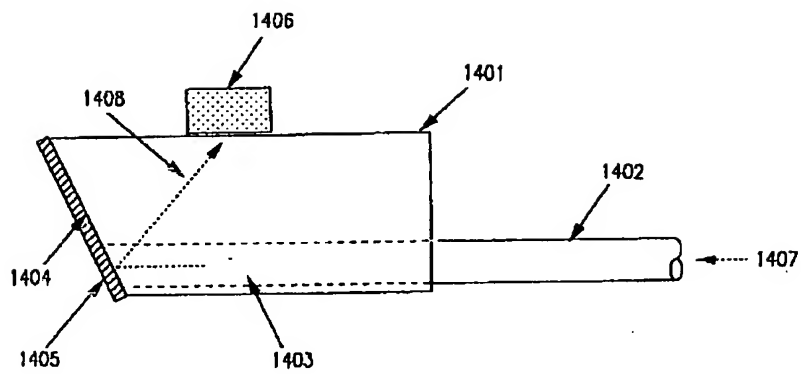
【図20】



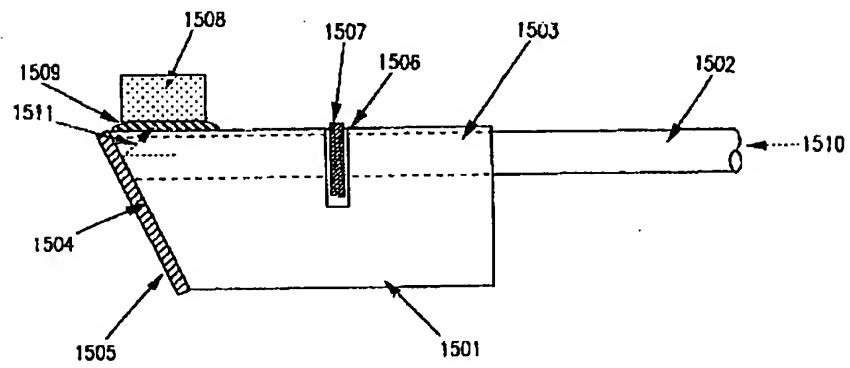
【図21】



【図24】



【図25】



【図27】

